

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
Wydział Architektury

mgr inż. arch. Jakub Onyszkiewicz

PRACA DOKTORSKA

Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym. Ewolucja i interpretacja bioniki na przykładzie polskich i zagranicznych konkursów architektonicznych.

Elements of biomimetics in designing architecture in a sustainable environment. Evolution and interpretation of bionics by the example of domestic and foreign architectural competitions.

PROMOTOR: dr hab. inż. Waldemar Bober, prof. uczelni

ZAKŁAD KONSTRUKCJI I BUDOWNICTWA OGÓLNEGO

Wrocław 2019

MOTTO:

“Pośród budowli ta jest doskonalsza, której niezawodność uzyskana jest przede wszystkim poprzez nadanie jej formie odpowiedniego kształtu, a nie drogą zastosowania bardziej wytrzymałych materiałów. To drugie rozwiązanie jest stosunkowo proste, natomiast pierwsze, przeciwnie, osiąga się z trudem. W tym zawarty jest urok poszukiwań i satysfakcja z odkryć.”

Eduardo Torroja

“The opposite of nature is impossible.”

Buckminster Fuller

STRESZCZENIE:

Praca doktorska Jakuba Onyszkiewicza nosi tytuł: "Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym." Podtytuł, wskazujący jednocześnie na przedmiot badania to: "Ewolucja i interpretacja bioniki na przykładzie polskich i zagranicznych konkursów architektonicznych." Autor uzasadniając wybór tematu pracy odnotowuje fakt, iż pozyskanie umiejętności twórczej analizy zjawisk zachodzących w świecie natury ożywionej i nieożywionej powodować będzie sytuację, w której projektowanie architektoniczne realizowane będzie zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Wskazuje miejsce tematu w problematyce badawczej podkreślając związki biomimetyki i architektury. Analizuje społeczny i ekonomiczny aspekt biomimetyki oraz wpływ klimatu na możliwości jej implementacji. Autor formułuje we wstępie dwie tezy dotyczące cech architektury biomimetycznej oraz kryteriów, które można zastosować do jej badania. Określa też cel naukowy pracy, którym jest podsumowanie oraz usystematyzowanie dotychczasowej wiedzy z dziedziny bioniki architektonicznej. Przedstawione zostają podstawowe definicje mające na celu zachowanie rzetelności prowadzenia rozprawy. Onyszkiewicz, zwraca szczególną uwagę na biomimetyczne podejście do projektowania produktów, systemów i architektury na zasadzie *cradle to cradle* - zamkniętych pętli obiegu elementów pochodzenia naturalnego w cyklu biologicznym i technicznego w cyklu technologicznym. Przedstawiona zostaje ewolucja biomimetyki od czasów starożytnych, poprzez secesję, modernizm do lat 60-tych ubiegłego wieku, kiedy biomimetyka została po raz pierwszy zdefiniowana. Autor prezentuje liczne przykłady współczesnych, biomimetycznych obiektów architektonicznych i zwraca uwagę na znaczenie kolejnych rewolucji przemysłowych w procesie ewolucji biomimetycznego projektowania. Podkreśla znaczenie 4-tej rewolucji zapoczątkowanej w latach 90-tych ubiegłego stulecia w kontekście niezależności energetycznej obiektów architektonicznych. Analizując aktualny stan badań nad przedmiotową problematyką autor przytacza liczne publikacje i wyniki badań krajowych i zagranicznych obrazując szerokie spektrum implementacji zagadnień związanych z biomimetyką. Podkreśla znaczenie interdyscyplinarnego jej badania. Opierając się na przeprowadzonej analizie materiałów źródłowych zaznacza, iż dzięki wdrożeniu biologii syntetycznej i genetycznej modyfikacji, projektowania parametrycznego, zaawansowanej inżynierii materiałowej oraz fabrykacji addytywnej – narzędziom rozwiniętym w XXI wieku - biomimetyka może być wdrażana na wielu polach projektowania, w tym projektowania architektonicznego.

Onyszkiewicz po przeprowadzeniu wielostopniowej analizy możliwości implementacji naturalnie występujących funkcji, form i konstrukcji definiuje cechy architektury biomimetycznej. Pozwala to jego zdaniem na zdefiniowanie w kolejnym kroku kryteriów, które stosuje do oceny prac konkursowych architektury zrealizowanej zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Określa warunki minimalne kwalifikacji i przeprowadza badanie 226 prac pozyskanych z opublikowanych wyników konkursów architektonicznych organizowanych w Europie, Ameryce Północnej i Azji. Przyjęta cezura czasowa konkursów to lata 2008-2018. Metodą analizy danych źródłowych przy udziale statystyki przeprowadza badanie i prezentuje jego wyniki w aspekcie geograficznym - kraju pochodzenia autora i organizacji konkursu, partycypacji - analizując czy uczestnik konkursu był profesjonalistą czy studentem architektury oraz m.in. czasu powstania pracy. Procentowy udział kolejnych kryteriów w ogólnej ilości badanych prac pozwala zdaniem autora na wskazanie wagi zainteresowania daną cechą. Onyszkiewicz zauważa w podsumowaniu swojej pracy, iż nastąpiła zmiana paradygmatu postrzegania biomimetyki, która aktualnie łączy optymalizację funkcjonalno-konstrukcyjną z aspektami ekologicznymi. Jednocześnie, jak wykazują wyniki badania, optymalizacja konstrukcyjna w analogii do działania naturalnie występujących struktur została odnotowana jako słabo reprezentowana. Jakub Onyszkiewicz prezentuje dane statystyczne wskazujące na duże znaczenie biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym potwierdzając jednocześnie prawdziwość założonych tez. Podkreślone zostaje, iż w pracy naukowej sprawdzono zastosowanie nowej metody badania architektury, która za pomocą statystyki pozwala na wyciągnięcie obiektywnych, klarownych wniosków. Stworzona baza danych może być uaktualniana w funkcji czasu. Kryteria badania mogą zostać częściowo usunięte, zmienione lub dodane co stwarza pole do prowadzenia dalszych prac w tym zakresie.

ABSTRACT:

The doctoral thesis of Jakub Onyszkiewicz is entitled: "Elements of biomimicry in the design of architecture in a sustainable environment." The subtitle, which also indicates the subject of the study, is: "The evolution and interpretation of bionics by the example of Polish and foreign architectural competitions." The author, justifying the choice of the subject of the work, notes that acquiring the ability to creatively analyze phenomena occurring in the world of animate and inanimate nature will result in a situation in which architectural design will be implemented in accordance with the principles of sustainable development. He indicates the place of the topic in research issues, emphasizing the connections between biomimetics and architecture. He analyzes social and economic aspects of biomimetics and the impact of climate on the possibilities of its implementation. In the Introduction, the author formulates two theses regarding the features of biomimetic architecture and the criteria that can be applied to its study. He also defines the scientific goal of the work, which is to summarize and systematize the existing knowledge within the field of architectural bionics. Basic definitions are presented to preserve the integrity of the trial. Onyszkiewicz pays particular attention of biomimetic approach to the design of products, systems and architecture on the principle of cradle-to-cradle: a closed loop of natural elements in the biological and fully recyclable loop of elements in the technological one. The evolution of biomimetics is presented, ranging from the ancient times, through secession and modernism to the 1960s, when biomimetics was first defined. The author presents numerous examples of contemporary biomimetic architectural objects and draws attention to the importance of subsequent industrial revolutions in the process of evolution of biomimetic design. He emphasizes the importance of the 4th revolution initiated in the 1990s in the context of energy independence of architectural structures. Analyzing the current state of research on the subject matter, the author quotes numerous publications and results of domestic and foreign surveys depicting a wide spectrum of implementation of biomimetics-related issues. The importance of interdisciplinary research is crucial according to the author's statements. Based on the analysis of the source material, he points out that thanks to the implementation of synthetic biology and genetic modification, parametric design, advanced material engineering and additive fabrication - tools developed in the 21st century - biomimetics can be implemented in multiple fields of design, including architectural design.

Following a multistage analysis of the possibilities of implementing naturally occurring functions, forms and constructions, Onyszkiewicz defines the features of biomimetic architecture. This allows him, in his opinion, to juxtapose the criteria used in the evaluation of competition works of architecture implemented in accordance with the principles of sustainable development. He specifies the minimum conditions for qualifications and conducts a study of 226 works obtained from the published results of architectural competitions organized in Europe, North America and Asia. The time period of the competitions adopted ranges from 2008 to 2018. By analyzing the source data with the participation of statistics, the author carries out the research and presents its results in the geographical aspect - the country of origin of the creator and the organization of the competition / participation - analyzing whether the participant was a professional or architectural student, and time of work creation. The percentage share of subsequent criteria in the total number of researched works allows, according to the author, to indicate the importance of interest in a given feature.

In the the summary of his work, Onyszkiewicz notes that there has been a change within the paradigm of the perception of biomimetics, which currently combines functional and structural optimization with ecological aspects. At the same time, as shown by the results of the study, structural optimization in analogy to the operation of naturally occurring structures was noted as poorly represented. Jakub Onyszkiewicz presents statistical data indicating the importance of biomimetics in the design of architecture in a sustainable environment, while confirming the truth of the theses. It is emphasized that in the scientific work the application of a new method of studying architecture has been validated, which, by the means of statistical analysis, allows to draw objective, clear conclusions. The created database can be updated in later stages of the discipline. The test criteria may be partially removed, changed or added, which creates a field for further work in this area.

SPIS TREŚCI:

1. Wprowadzenie w problematykę pracy	1
1.1. Uzasadnienie wyboru tematu.....	3
1.2. Miejsce tematu w danej problematyce badawczej.....	4
1.3. Wskazanie powiązania problematyki z aktualnym stanem wiedzy i zadaniami społecznymi.....	5
1.3.1. Dostęp do materiałów źródłowych.....	5
1.3.2. Społeczny i ekologiczny aspekt biomimetyki.....	5
1.3.3. Wpływ klimatu na możliwości kształtowania form biomimetycznych.....	6
1.3.4. Związki bioniki i architektury.....	6
1.4. Omówienie istniejącego stanu wiedzy w zakresie tematu badań oraz zarys rozwiązania zagadnienia naukowego.....	8
1.5. Przyjęta teza pracy.....	8
1.6. Cel naukowy pracy.....	9
1.7. Przedmiot i zakres pracy.....	9
1.8. Przyjęte metody badawcze.....	9
1.9. Definicje.....	9
2. Ewolucja biomimetyki	14
2.1. Ewolucja biomimetyki w ujęciu historycznym.....	14
2.2. Współczesne przykłady biomimetyki w architekturze.....	18
2.3. „Architektura i bionika” J.S. Lebediew.....	21
3. Aktualny stan badań nad przedmiotową problematyką	27
3.1. Biomimetyka w architekturze zrównoważonego rozwoju.....	27
3.2. Interdyscyplinarne znaczenie biomimetyki.....	52
3.3. Biomimicry Institute i Janine Benyus - usługi consultingowe a biomimetyka.....	62
3.4. Dennis Dollens: biomimetyka systemów autopojetycznych.....	65
3.5. Biomimetyka wzornictwa przemysłowego: Ross Lovegrove.....	68
3.6. Biomimetyka a projektowanie parametryczne.....	69
3.7. Nature Inspired Design Handbook - podręcznik biomimetycznego projektowania.....	71
3.8. Biomimetyka w architekturze high-tech i low-tech.....	73
3.9. Biomimetyka a rekonsupcja architektury.....	78
3.10. Badania materiałowe Lorny Gibson.....	80
3.11. Metoda LU.....	81
3.12. Wnioski.....	84
4. Cechy architektury biomimetycznej	87
5. Metodologia prowadzenia badania cech architektury biomimetycznej	89
5.1. Analiza danych historycznych.....	90
5.2. Warunki brzegowe badania.....	90
5.3. Opracowanie kryteriów oceny biomimetyki na podstawie zgromadzonych materiałów źródłowych.....	90
5.3.1. Kryteria podstawowe (wewnętrzne):.....	90
5.3.2. Kryteria dodatkowe (zewnętrzne):.....	92
5.3.3. Kryteria uzupełniające.....	92
5.4. Wnioski.....	93
6. Przedmiot badania cech architektury biomimetycznej	94
6.1. Konkursy architektoniczne:.....	95
6.1.1. Evolo Skyscraper.....	95
6.1.2. Laka ReActs.....	95
6.1.3. 120 hours.....	96
6.1.4. Architecture at zero.....	96
6.1.5. The density competition.....	97
6.1.6. Futurarc Prize.....	97
6.1.7. Emporis Scyscraper Award.....	98
6.2. Nagrody architektoniczne:.....	98
6.2.1. Nagroda roku SARP.....	98
6.2.2. Mies van der Rohe award.....	98
7. Badanie cech architektury biomimetycznej	99
8. Podsumowanie badania	100
9. Wnioski	102
10. Bibliografia	103
11. Strony internetowe użyte do pozyskania treści	104
12. Spis źródeł ilustracji, tabel i rysunków	104

1. Wprowadzenie w problematykę pracy

Rozpoczynając niniejszą pracę byłem pewien, że wstęp do niej formułował będę na końcu. Byłem również przekonany, że nie chcę i nie mogę próbować idealizować naturalnie występujących struktur konstrukcyjnych, zależności funkcjonalnych czy naturalnie wstępujących form celem poszukiwania architektonicznego absolutu. Wciąż jestem tego pewien, ale po przeprowadzeniu analizy dostępnych materiałów źródłowych oraz badania, które stanowi znaczący element niniejszej dysertacji jestem w stanie uzasadnić swoje przekonania. Związek człowieka z naturą i środowiskiem naturalnym jest nierozzerwalny i znaczący dla jego prawidłowego funkcjonowania. Pierwsza część powyższego stwierdzenia nie wymaga szczególnego uzasadnienia dopóki ludzie zamieszkują Ziemię, drugą część potwierdzają między innymi badania przeprowadzone przez prof. Glenna Albrechta¹. Ukuł on termin *psychoterratica*, który ma na celu określenie jednostki chorobowej, w której dystans od środowiska naturalnego jest wprost proporcjonalny do postępującej traumy. Znaczenie natury w prawidłowym funkcjonowaniu ludzi i społeczności jest przedmiotem licznych publikacji popularno-naukowych. Dostrzega to Peter Wohleben [2] czy też Christopher Alexander², który pisząc [1] o tzw. pasach miejskich i pasach wiejskich – autorskich zasadach zrównoważonej urbanistyki - przytacza fragment książki Paul R. Ehrlicha [28]: *Wydaje nam się że jesteśmy wyjątkowi. Jednakże prawdopodobnie jesteśmy tak samo jak każdy inny ssak genetycznie zaprogramowani do życia w habitacie naturalnym, w czystym powietrzu i zróżnicowanym, zielonym krajobrazie.*³ Alexander analizuje dostępną zieleń i zależność pomiędzy odległością terenów zielonych od obszarów zamieszkania zauważając, że *w mieście ogromną część powierzchni zajmują dachy. Jeśli powiążemy to z faktem, że całkowita powierzchnia miasta, która może być wystawiona na działanie słońca, jest skończona, zrozumiemy, iż budowanie dachów umożliwiających korzystanie ze słońca i z powietrza jest naturalne, a nawet konieczne*⁴. Wspomniana zostaje również tzw. ściana ogrodowa oraz fakt, iż *budynek ostatecznie staje się częścią swojego otoczenia, gdy rośliny porastają jego części równie swobodnie, jak rosną w ziemi*⁵. Pomijając w tym momencie ewentualną krytykę bądź dyskusję z ideami zaproponowanymi przez Christophera Alexandra, fakt życia w zgodzie z naturą oraz organiczna potrzeba kontaktu z nią wydaje się być nierozzerwalna z kondycją człowieka. Ogólnie pojęta świadomość znaczenia terenów zielonych w planowaniu przestrzennym objawia się między innymi zapisami w Miejscowych Planach Zagospodarowania Przestrzennego dotyczącymi koniecznej do zachowania powierzchni terenu biologicznie czynnego oraz dopuszczalnej intensywności zabudowy. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie⁶ pozwala z kolei również część powierzchni biologicznie czynnej realizować w postaci tzw. *zielonych dachów*, a lokalne rozporządzenia dot. wycinki drzew obligują do tzw. "kompensacji przyrodniczej". Oddolnie realizowane (z pominięciem ustawodawstwa) są tzw. *parklety*⁷ czyli lokalne, ogólnodostępne ogrody powstające z przekształceń miejsc postojowych dla samochodów lub działania nazywane *guerilla gardeninig*⁸ czyli próba zadrzewienia i

¹ Glenn Albrecht (ur. w 1953r.) em. profesor zrównoważonego rozwoju w Murdoch University w Australii.

² Christopher Alexander (ur. w 1936 r.) teoretyk architektury i projektowania, a obecnie emerytowany profesor na University of California w Berkeley. Jego teorie na temat natury projektowania skoncentrowanego na człowieku wpłynęły na dziedziny wykraczające poza architekturę, w tym urbanistykę, oprogramowanie, socjologię i inne. Alexander zaprojektował i osobiście zbudował ponad 100 budynków, zarówno jako architekt, jak i generalny wykonawca.

³ Paul R. Ehrlich: "Population Resources Environment: Issues in Human Ecology"; W. H. Freeman, 1972r.

⁴ Christopher Alexander: *Język wzorców. Miasta, budynki, konstrukcja*; GWP; Gdańsk 2008r.

⁵ Ibidem

⁶ Dz. U. nr 1422 z 2015r. z późniejszymi zmianami.

⁷ Przestrzeń dla pieszych, która odpowiada na niedostatek przestrzeni publicznych oraz zieleni w mieście. Niewielkie rozmiary (najczęściej 2 miejsca parkingowe) pozwalają na zlokalizowanie go w zasadzie wszędzie (definicja wg Fundacji Fenomen).

⁸ Forma akcji bezpośredniej polegająca na prowadzeniu prac ogrodowych na terenie, do którego ogrodnik nie ma praw własności. Tego rodzaju prace prowadzone są na ogół w miejscach publicznych – opuszczonych i zaniedbanych lub będących własnością prywatną, lecz noszących znamiona porzucenia przez właściciela. Partyzancko uprawiane tereny zielone są porządkowane, a następnie obsiewane lub obsadzone roślinami użytkowymi jadalnymi lub ozdobnymi [29].

zazielenienia miejskich nieużytków. Ogrody społeczne oraz lokalne inicjatywy mające na celu objęcie opieką przydomowych ogródków przed blokami mieszkalnymi są częstą praktyką gospodarowania miejską zielenią.

Projektowanie architektoniczne polega na optymalizacji. Poza swoim znaczeniem ideowym, przestrzennym czy aspektem kreatywności w projektowaniu, architektura ma za zadanie sformułować optymalne rozwiązanie przestrzenne zadanego problemu funkcjonalnego. Optymalizacji podlega konstrukcja obiektu, jego koszt, materiały, jego zaopatrzenie energetyczne, straty ciepła czy też ewentualne wykorzystanie odnawialnych źródeł w bilansie energetycznym budynku. Analogicznie, natura w związku z permanentnym oddziaływaniem na nią czynników atmosferycznych, dostępnością wody, tlenu czy światła słonecznego podlega optymalizacji. Jej naczelną zasadą – celem przetrwania gatunku – jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania przy minimalnym wykorzystaniu materiału i energii. W naturze materiał jest „drogi”. Maksymalizacja zysku energetycznego przy jednoczesnej minimalizacji „kosztu” zużycia materiału jest tutaj naczelną zasadą. Jest to znacząca zbieżność celów, która prawdopodobnie wynika z podstawowego faktu, iż człowiek jest również elementem wielu ekosystemów. Notabene zajmuje zwykle nie do końca szczytne ostatnie miejsce w wielu łańcuchach troficznych bezpośrednio wpływając na wszystkie gatunki znajdujące się poniżej w rzeczonyj strukturze. Z powyższego faktu wynika jednak często odnotowywane podświadome zastosowanie biomimetyki. Inspiracja naturalnie występującymi funkcjami, konstrukcjami, formami czy zjawiskami może być zastosowana w architekturze z pominięciem etapu procesowania, przetworzenia i analizy informacji. Jeżeli skonstatujemy fakt, iż np. energia w środowisku naturalnym pozyskiwania jest zasadniczo z dwóch źródeł - słońca oraz metabolizmu - odnotujemy prawdopodobnie zbieżność z zasadami budownictwa pasywnego, w którym szeroko stosowane są ogniwa fotowoltaiczne celem pozyskania energii przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na zyski ciepła związane z urządzeniami wewnątrz budynku i ciepłem wydzielanym przez jego użytkowników. Różnicą jest tutaj jednak fakt, iż w odróżnieniu od części organizmów naturalnych, aktywność życia człowieka trwa nieprzerwanie bez względu na pory roku. Nie wykształcił on form przetrwalnikowych. Elementem, który zapewnia mu jednak możliwość bezpiecznego funkcjonowania i zabezpiecza jego byt przed ewentualnym szkodliwym działaniem środowiska zewnętrznego jest właśnie architektura. Jak zauważa prof. Janine Benyus⁹ - *nie jesteśmy pierwszymi budowniczymi na Ziemi - architekci inspirowani się istniejącymi obiektami zamiast szukać naturalnych inspiracji.*

Biomimetyka wymaga integracji kierunków technicznych i humanistycznych. Jej interdyscyplinarny charakter przynosi jednocześnie zysk - w styku potencjalnie różnych dziedzin często rodzą się innowacje - oraz wyzwanie, gdyż jak zauważają m.in. prof. Andrzej Samek oraz prof. Julian Vincent¹⁰ nauki techniczne i humanistyczne nie krzyżują się często. Architektom więc brak jest wiedzy z zakresu biologii pozwalającej swobodnie interpretować zauważone zjawiska i analogicznie – gremium biologów będzie w stanie zjawiska te odnotować, ale bez możliwości logicznej ich implementacji w architekturze. Podobne zjawisko będzie dotyczyć innych dziedzin inżynierii czy projektowania. Znaczący jednak jest fakt, na który zwraca uwagę m.in. prof. Neri Oxman¹¹, iż właśnie bieżący stan rozwoju technicznego i technologicznego pozwala na coraz szersze wprowadzanie biomimetyki w coraz istotniejszych aspektach życia. Odbywa się to między innymi dzięki zastosowaniu nanotechnologii, osiągnięciom biologii syntetycznej i biotechnologii oraz między innymi fabrykacji addytywnej¹² i projektowaniu parametrycznemu pozwalającemu jednocześnie symulować obciążenia i optymalizować zużycie materiału. Rozpowszechnione dziś prototypowanie powoduje możliwość dokładnej oceny rozwiązania przed jego zastosowaniem w szerszej skali. Jest to bezpośredni powód powstawania kolejnych wynalazków z dziedziny biomimetyki, a postępująca wynalazczość powoduje trudności w określeniu cezury czasowej jej badania i analiz. Nie starając się

⁹ Janine Banyus: (ur. w 1958r.) amerykańska biologka, pisarka i konsultantka innowacji w dziedzinie biomimetyki.

¹⁰ Sylwetki oraz dorobek prof. Samek oraz prof. Vincenta przytoczono odpowiednio w pkt. 3.3.2 oraz 3.3.4 niniejszej dysertacji.

¹¹ Sylwetkę oraz dorobek prof. Neri Oxman przytoczono w pkt. 3.2.1 niniejszej dysertacji.

¹² Między innymi druku 3d.

wyolbrzymiać znaczenia zawodu architekta, wydaje się, że pewien rodzaj szerokiej wiedzy ogólnej zarówno technicznej jak i humanistycznej - swego rodzaju dyletantyzm - może być właśnie czynnikiem spajającym, tak potrzebnym w biomimetycznym projektowaniu.

1.1. Uzasadnienie wyboru tematu

Jednym z podstawowych zadań architektury i urbanistyki od momentu ich powstania jest ochrona jednostek lub grup ludzi przed działaniem czynników zewnętrznych - zapewnienie jednostkom, grupom ludzi lub społecznościom warunków, w których spełnione byłby ich podstawowe potrzeby, takie jak ochrona przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych, zapewnienie bezpieczeństwa i możliwości poprawnego rozwoju we wszystkich aspektach i na wszystkich etapach życia. Następuje permanentne wydzielanie i podbój świata natury nieskażonej działalnością człowieka dla zapewnienia jego potrzeb. Niejednokrotnie, poza potrzebami podstawowymi, powodem tych działań jest czysta konsumpcja, materializm i ekonomia, jak na przykład w przypadku palm olejowych sadzonych wielkoobszarowo kosztem wycinki lasów deszczowych na Filipinach. Jeżeli Ziemię sprowadzić do stref potencjalnej eksploracji naszego gatunku z pominięciem dna oceanów i granicznych wysokości n.p.m.,¹³ uczyniliśmy sobie Ziemię w znakomitej większości poddaną.

Będąc świadomymi faktu, iż energia nie bierze się z nikąd, z kosztów jej produkcji oraz konieczności wykorzystywania jej bez zbędnych strat, wydaje się zasadne poddanie dogłębnej analizie sposobu w jaki naturalnie występujące organizmy dokonują jej parcelacji i ewentualnego odzysku zgodnie z opisaną w dalszej części niniejszej pracy ideą **cradle to cradle**. Pozyskanie umiejętności twórczej analizy zjawisk zachodzących w świecie natury ożywionej i nieożywionej powoduje sytuację, w której projektowanie architektoniczne realizowane będzie zgodnie z zasadami **zrównoważonego rozwoju**¹⁴.

Jak wspomniano, biomimetyka dotyczy między innymi optymalizacji produkcji i użytkowania energii zarówno na etapie wytwarzania materiałów (wzrostu), cyklu życia obiektu (ekosystemu) oraz jego dekonstrukcji, rekonsypcji lub recyklingu. Rewolucja naukowo-techniczna (nazywana również 3-cią rewolucją przemysłową) zapoczątkowana została w latach 50-tych XX wieku, co zbiega się w czasie z narodzinami sformułowania „bionika”. Kryzys energetyczny w latach 70-tych XX wieku związany z konfliktem izraelsko – arabskim na Bliskim Wschodzie odcisnął jednak znaczące piętno na polityce energetycznej zarówno państw OPEC, jak i pozostałych krajów rozwiniętych i rozwijających się. Przyjmuje się, że kolejna – tzw. IV-ta – rewolucja przemysłowa zapoczątkowana została w latach 90-tych ubiegłego wieku w związku z zanikiem bariery ludzimo-maszyny tj. popularyzacją Internetu rzeczy, usług i danych oraz automatyzacją produkcji. Zdaniem jednak Hermanna Scheera¹⁵, IV-ta Rewolucja Przemysłowa odbywa się właśnie teraz i jest związana z niezależnością energetyczną. Spróbujmy wyobrazić sobie sytuację, w której większość gospodarstw domowych w Polsce jest niezależne od jakiegokolwiek centralnego systemu dystrybucji energii i produkuje ją lokalnie w ilości odpowiadającej zapotrzebowaniu lub dzieli się nadwyżkami ze źródeł odnawialnych. Spowodowałoby to natychmiastową zmianę jakości powietrza oraz radykalne obniżenie kosztów życia, abstrahując od globalnych zysków związanych z koniecznością zakupu praw do emisji CO2. Nastąpiłoby kompletne uniezależnienie się od OPEC, które notabene arbitralnie dyktuje ceny ropy naftowej na całym świecie oraz zmianą

¹³ Najwyżej położone miasto na świecie znajduje się w Peru na wysokości 5100m n.p.m. Liczące ok. 30 000 mieszkańców miasto La Rinconada w 2003r. zostało ogłoszone przez National Geographic jako najwyżej położone miejsce zamieszkałe przez człowieka.

¹⁴ Cradle to cradle oraz zasady zrównoważonego rozwoju opisano w pkt. 1.9 niniejszej dysertacji.

¹⁵ Hermann Scheer (ur. 29.04.1944r. – zm.14.10.2010r.) był socjaldemokratą członkiem niemieckiego Bundestagu, prezydentem Eurosolar (Europejskiego Stowarzyszenia na rzecz Energii Odnawialnej) i generalnym przewodniczącym Światowej Rady Energii Odnawialnej.

paradygmatu postrzegania produkcji energii ze sterowanego centralnie na lokalne, w pełni odnawialne źródła. Dziś, ok. 80% gospodarstw domowych w Danii jest niezależne od centralnego systemu dystrybucji energii, a pod Kopenhagą budowana jest ferma fotowoltaiczna, która w przypadku tzw. blackoutu¹⁶ będzie w stanie zapewnić funkcjonowanie stolicy przez czas 24h. W aspekcie energetycznym więc biomimetyka, która poza promowaniem naturalnych źródeł energii zakłada jej radykalne oszczędzanie jest znacząco więc zależna od lokalnej polityki.

Podstawowym powodem rozpoczęcia pracy badawczej jest odnotowana duża ilość powadzonych badań naukowych w dziedzinie biomimetyki przy jednoczesnym braku wyraźnego zdefiniowania cech architektury biomimetycznej. Aktualny stan wiedzy i mnogość pojęć powoduje zdaniem autora chaos logiczny i brak możliwości jasnego i logicznego zdefiniowania podstaw do prowadzenia badań w zakresie ścieżek i sposobu implementacji i naśladowania (mimesis) świata natury w architekturze. Konieczne jest zdaniem autora pracy określenie cech architektury biomimetycznej oraz jednoczesna analiza znaczenia biomimetyki w architekturze w aspekcie zasad zrównoważonego rozwoju tak, aby możliwie najczytelniej wskazać część wspólną tych dwóch zbiorów oraz elementy odrębne.

1.2. Miejsce tematu w danej problematyce badawczej

Biomimetyka jest nauką interdyscyplinarną w dwóch aspektach. Po pierwsze, aby w pełni poznać i zrozumieć funkcje, formy i struktury konstrukcyjne występujące w świecie natury i poprawnie zaimplementować swoje obserwacje w dziedzinie np. inżynierii czy też w architekturze, niezbędna jest wiedza z dziedziny biologii, inżynierii środowiska, mikrobiologii lub na przykład klimatologii - w zależności od sfery jej implementacji i przedmiotu badania. Fakt ten zauważają w swoich publikacjach m.in. prof. Andrzej Samek oraz prof. Julian Vincent - obaj wspomniani już w niniejszej dysertacji. Drugi aspekt interdyscyplinarności biomimetyki to sfera jej implementacji. Znajduje ona szerokie zastosowanie w automatyce i robotyce, inżynierii biomedycznej czy też transplantologii lub elektronice. Powoduje to sytuację, w której prowadzona jest niezliczona ilość badań w zakresie biomimetyki, których wyników niestety nie można w bezpośredni sposób łączyć z uwagi na dziedzinę w jakiej są prowadzone. Tym niemniej, z uwagi na przedmiot badania - biomimetykę właśnie - prawdopodobnie możliwe byłoby choć częściowe wykorzystanie badań z jednej dziedziny w innej. Przykładem może być tu chociażby ogniwo fotowoltaiczne, które znajduje się w domenie inżynierów elektryków, a jest powszechnie już stosowane w architekturze lub też biomimetyczne analizy konstrukcyjne, które mogłyby mieć chociażby częściowe zastosowanie w implantologii. Podstawowe odkrycia z dziedziny biomimetyki implementowanej w różnych dziedzinach nauki prezentują na przykładach Werner Nachtigall i Alfred Wisser [37]. Jak można zauważyć, kluczowe znaczenie dla biomimetyki ma wynalazczość. Jest to notabene miara rozwoju współczesnego społeczeństwa, gdzie innowacyjność odgrywa znaczącą rolę również w aspekcie jego zrównoważonego rozwoju. Wspomnieć można by tutaj chociażby projekt Calera¹⁷, w którym "cement" (w tym przypadku jest to węglan wapnia) pozyskiwany jest podczas wiązania dwutlenku węgla i wapnia pochodzącego z wody morskiej. Jest to zjawisko analogiczne do przyrostu kolejnych warstw muszli i opisane zostało w dalszej części niniejszej dysertacji. Zasadniczo więc,

¹⁶ Rozległej i długotrwałej awarii zasilania.

¹⁷ Specjalna forma węglanu wapnia, którą Calera wytwarza w swoim procesie, naśladuje postać węglanu wapnia, której organizmy morskie używają do wytwarzania skorup i innych struktur. Węglan wapnia występuje w naturze w różnych postaciach lub odmianach polimorficznych. Proces Calera powoduje wytwarzanie polimorfu waterytu, który jest stabilny przy przechowywaniu bez wody. Po dodaniu wody i innych zastrzeżonych dodatków do polimorfu waterytu zachodzi reakcja cementu, w której wateryt przekształca się w reakcji rozpuszczania i ponownego wytrącania, tworząc inny polimorf węglanu wapnia, znany jako aragonit. Ta konwersja waterytu na aragonit powoduje powstanie materiału o wysokiej wytrzymałości, tak jak naturalne systemy, takie jak masa perłowa (masa perłowa), są również zbudowane z polimorfu aragonitu węglanu wapnia [s2].

z punktu widzenia projektowania architektonicznego podstawowym celem biomimetycznych poszukiwań są rozwiązania funkcjonalno - konstrukcyjne zakładające redukcję zużycia materiałów - w tym materiałów o wysokim śladzie węglowym - przy zachowaniu założeń projektowych i jednocześnie poszanowania energii doprowadzanej do systemu.

1.3. Wskazanie powiązania problematyki z aktualnym stanem wiedzy i zadaniami społecznymi

1.3.1. Dostęp do materiałów źródłowych

Na polskim rynku wydawniczym, istnieje znikoma ilość materiałów na temat biomimetyki w architekturze. Publikowane są w większości artykuły popularno-naukowe obrazujące synergię biomimetyki i architektury z ogólnej perspektywy. Generalnie, jedyną dostępną publikacją jest *Architektura i bionika* J.S. Lebediewa wydana przez Wydawnictwo Arkady w latach 80-tych ubiegłego stulecia. Pozostałe wydania książkowe na temat biomimetyki dotyczą innych dziedzin nauki, jak np. automatyki i robotyki (prof. Andrzej Samek). Sytuacja ta przedstawia się zgoła odmiennie na wydawniczym rynku europejskim i światowym. Jak odnotowuje Michael Pawlyn¹⁸ XXI wiek przyniósł radykalną zmianę zainteresowania badaczy tematem biomimetyki. Nie bez znaczenia jest tutaj fakt błyskawicznego przepływu informacji i konieczności publikacji odkryć i wniosków patentowych badaczy oraz fakt, iż zagraniczne jednostki badawcze działają na zasadzie interdyscyplinarnych think-tanków i laboratoriów prowadzących ciągle i wieloletnie badania w dziedzinie biomimetyki, jak np. Mediated Matter Group na MIT w Bostonie czy też Terreform ONE w oparciu o laboratoria NYU. Ilość artykułów naukowych w pierwszej dekadzie XXI wieku wyniosła kilka tysięcy rocznie. Biomimetyka jest przedmiotem zainteresowania również dużych wydawnictw takich jak RIBA Publishing, Amazon czy Springer International Publishing. W rozdziale dotyczącym aktualnego stanu badań nad przedmiotową problematyką (rozdział 3) poddano analizie najważniejsze z dostępnych materiałów źródłowych.

1.3.2. Społeczny i ekologiczny aspekt biomimetyki.

Znaczenie społecznego aspektu biomimetyki wspomniano we wstępie niniejszej dysertacji. Ideologia zero-waste w oparciu o założenia cradle to cradle¹⁹ ma bezpośredni wpływ na sposób funkcjonowania społeczeństw oraz architekturę i urbanistykę ich przestrzeni. Nawiązując do obserwacji wspomnianego Michaela Pawlyna - w analogii do sposobu w jaki natura gospodaruje swoimi zasobami, zasoby ludzkie takie jak umiejętności, specjalizacje czy zainteresowania można z dużym powodzeniem traktować jako zasoby dla realizacji założonego celu. Warunkiem koniecznym jest jednak, aby cel ten był oczywiście wspólny i przyświecał każdej jednostce obywatelskiego, zaangażowanego społeczeństwa. To tego, mam nadzieję dążymy. Kluczowy jest tutaj jego zrównoważony rozwój, który zgodnie z przedstawioną poniżej definicją zakłada takie korzystanie z dostępnych zasobów, aby kolejne pokolenia nie odnotowały ich uszczuplenia. Amory Lovins - amerykański fizyk i aktywista (współzałożyciel Rocky Mountain Institute) - na potrzeby idei zrównoważonego rozwoju stworzył pojęcie *negawatów*, czyli zaoszczędzonych jednostek mocy. Zrównoważony rozwój, dla którego jednym z narzędzi zdaniem autora niniejszej pracy jest biomimetyka, w bezpośredni sposób związany jest z produkcją energii i propagowaniem przechodzenia na jej odnawialne źródła, gospodarką wodną oraz dbaniem o jakość powietrza jako trzech podstawowych zadań stojących przez populacją w dobie zmian klimatycznych spowodowanych działalnością człowieka.

¹⁸ Michael Pawlyn: (ur. 1967r.) brytyjski architekt, badacz zagadnień biomimetyki w architekturze i związanych z nią innowacji. Sylwetkę i badania Michaela Pawlyna opisano w rozdziale 3.1.3 niniejszego opracowania.

¹⁹ Opisane w rozdziale 1.9 niniejszego opracowania.

1.3.3. Wpływ klimatu na możliwości biomimetyki w architekturze.

Istnieją dwa aspekty, które wpływają na sposoby i możliwości implementacji naturalnie obserwowanych struktur, form lub funkcji w architekturze. Po pierwsze, zasadnicze znaczenie w kwestii pozyskania materiału do analiz architektonicznych pod kątem biomimetyki jest lokalna specjalizacja organizmów. Lokalne warunki atmosferyczne takie jak temperatura – amplitudy dzienne, sezonowe i roczne, ilość opadów, nasłonecznienie danych stref w funkcji pór roku, kierunki wiatrów oraz lokalizacja występowania analizowanego gatunku powoduje jego specjalizację. Zauważenie tej specjalizacji - tego w jaki sposób dany gatunek przystosował się do życia i ewolucji na danym obszarze - jest jedną z obserwacji, które mogą mieć zastosowanie w biomimetycznej architekturze. Rozwijając tę myśl, drugim aspektem jest stosowanie lokalnych materiałów. Natura nie importuje budulca i korzysta z materiałów dostępnych lokalnie integrując swój rozwój ze wzrostem. Z zasady, są to materiały nietoksyczne i biodegradowalne oraz jednocześnie wyspecjalizowane pod względem pracy w konkretnej strefie klimatycznej - np. pod względem oddziaływania sił poziomych wynikających z parcia wiatru, możliwości zachowania parametrów konstrukcyjnych i funkcjonalności w zmieniających się temperaturach czy też przenoszenia obciążeń pionowych związanych z opadami. Jest to powód dla którego na przykład dąb korkowy (*fac. Quercus Suber*) rzadko występuje w Polsce, a jest szeroko obserwowany w Europie południowej i na północy Afryki. Jak łatwo zauważyć, zastosowanie w architekturze materiałów pozyskiwanych lokalnie ogranicza też ślad węglowy związany z ich transportem.

1.3.4. Związki bioniki i architektury

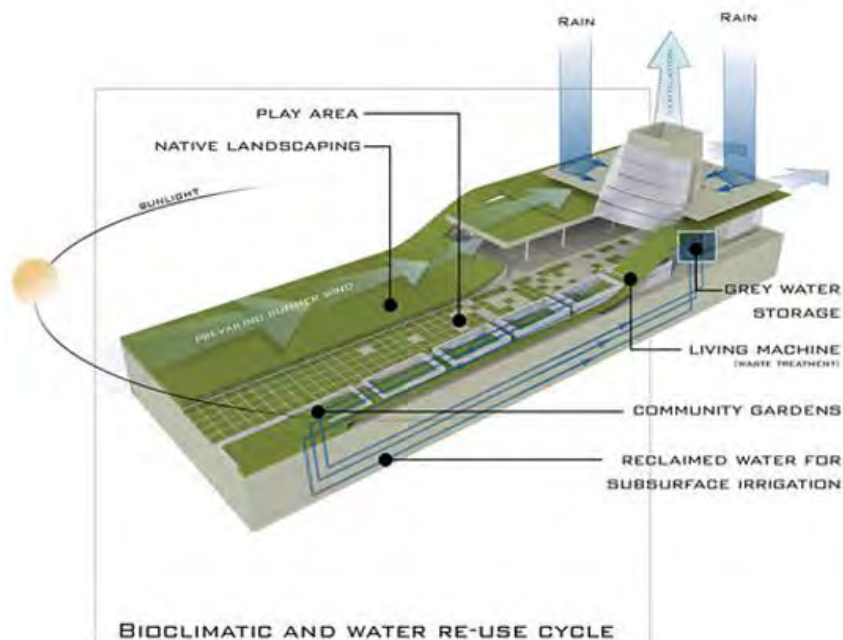
Henryk Katowicz-Kowalewski²⁰ w swoim artykule dot. architektury jako sztuki kształtowania procesów [17] zauważa trzy kolejne kroki projektowania architektury zrównoważonej (tu: zrównoważonego rozwoju), *którymi eksperymentatorzy oddalają się sukcesywnie od tradycyjnie pojmowanego pojęcia „architektura”*.²¹ Wspomniany już kryzys energetyczny w latach 70-tych XX wieku spowodował konieczność zwrócenia uwagi na sposób dystrybucji energii i źródeł jej pozyskiwania. W tym czasie rozpoczęły się pierwsze poszukiwania i eksperymenty architektoniczne, które miały na celu zapewnienie choć częściowej niezależności energetycznej projektowanych obiektów. Jednocześnie, w związku z rozwojem technologicznym, który przyniosła III rewolucja przemysłowa i zgodnie z ideami początków biomimetyki, projektowanie architektoniczne zaczęło traktować interdyscyplinarnie. *Technologie pozyskiwania energii słonecznej – dotąd głównie bazujące na zjawiskach fizycznych – zaczęły w pewnym momencie ewoluować w kierunku procesów biochemicznych, takich jak fotosynteza. Przykładem tego typu działań może być obiekt mieszkalny nazywany „szpinakowym domem”, który został wyposażony w system pozyskiwania energii elektrycznej uzyskiwanej z energii słońca. Proces ten jest możliwy dzięki pokryciu budynku „skórą” obdarzoną zdolnością fotosyntezy, której głównym składnikiem jest białko pochodzące ze szpinaku.[...] Zakłada się, że system ten będzie dwukrotnie bardziej efektywny niż tradycyjne ogniwa fotowoltaiczne.*²² Zgodnie z założeniami autorów, dom ten pokryty byłby fotosyntetyczną "skórą" opartą na ogniwach półprzewodnikowych, której głównym składnikiem do wytwarzania energii elektrycznej ze słońca byłoby białko i nazwie *Photosystem I*, które pochodzi ze szpinaku.

²⁰ mgr inż. arch. Henryk Katowicz - Kowalewski: starszy wykładowca na Wydziale Budownictwa Politechniki Częstochowskiej, autor licznych artykułów z dziedziny architektury zrównoważonego rozwoju, efektywności energetycznej i eksperymentów architektonicznych (m.in. *Eksperymentalna architektura drewniana*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2013r).

²¹ Henryk Katowicz – Kowalewski: *Architektura jako sztuka kształtowania procesów*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010r.

²² Ibidem

Implementacja roślin lub nawet całych ogrodów czy farm w strukturze obiektów architektonicznych²³ jest bezkolizyjnym – zdaniem Kowalewskiego – procesem, *który nie pozostawia po sobie zanieczyszczeń i nieodwracalnych zmian w zastanym środowisku naturalnym, ale także (jest - aut.) pierwszym krokiem na drodze do redefinicji samej architektury.*²⁴



fol.1: Spinach House, Matthew Coates i Tim Meldrum (MIT, Boston MA)

Katowicz-Kowalewski, co istotne, biomimetykę w architekturze traktuje jako odrębną ideę, sposób myślenia czy też projektowania. W drugim więc z trzech kroków opisuje naturę jako czynnik kształtujący formę architektoniczną. Przywołana zostaje działalność Dennisa Dollensa²⁵ określana przez samego jej autora jako architektura procesów autopojetycznych²⁶, w których doświadczenia oraz symulacje komputerowe pozwalają wykształcać formy ulegające zaprogramowanemu, acz jednocześnie naturalnemu rozwojowi w czasie i przestrzeni. Spełniona zostaje tutaj idea fix biomimetyków polegająca na integracji rozwoju ze wzrostem, która bez udziału biologii syntetycznej lub genetycznej modyfikacji jest praktycznie nie do zastosowania w architekturze.

Trzeci krok, który obrazuje jednocześnie dualizm związku bioniki i architektury stanowiąc jednocześnie cel działalności niektórych projektantów – bioników to sytuacja, w której architektura stanowi czynnik kształtujący naturę. Katowicz-Kowalewski pyta *dlaczego biologiczne procesy przebiegające na obszarze lądów i oceanów nie mogą być przeniesione w granice wyznaczone architektoniczną strukturą i wykorzystywane w obrębie kontrolowanej przestrzeni?* Nadmienia, że nie chodzi tutaj o zjawisko Eden-Project Nicholasa Grimshawa, czyli swoisty ogród botaniczny, a na przykład sytuacje widoczne w projektach Vincenta Callebaut, gdzie architektura staje się *elementem sterującym naturalnymi procesami,*

²³ Jak na przykład związana z działalnością Terreform ONE (rozdział 3.2.1) lub Vincenta Callebaut (rozdział 3.2.2).

²⁴ Hanryk Katowicz – Kowalewski: *Architektura jako sztuka kształtowania procesów*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010r.

²⁵ Opisana w rozdziale 3.4.

²⁶ System autopojetyczny: system samo wytwarzający się, powstający i odtwarzający się tylko z użyciem własnych elementów. Reprodukuje się on poprzez rekonstrukcję samego siebie w reakcji na bodźce zmieniającego się środowiska [s3].

uwarunkowanym formalnie i funkcjonalnie ich prawidłowym przebiegiem, łączącym (choć niekoniecznie) tradycyjne funkcje architektury ze swoją funkcją biologiczną.²⁷

Co istotne z punktu widzenia tematu niniejszej pracy - Katowicz-Kowalewski zauważa fakt, iż biomimetyka nie dokonała (jak dotąd) rewolucji w architekturze takiej, jak np. XX-wieczny modernizm i jest to prawdopodobnie związane z faktem, iż hołduje ona zasadą zrównoważonego rozwoju, który stoi w sprzeczności z rewolucyjnym radykalizmem.

1.4. Omówienie istniejącego stanu wiedzy w zakresie tematu badań oraz zarys rozwiązania zagadnienia naukowego.

Aktualnie, brak jest jednoznacznej i przyjętej ogólnie definicji i zasad projektowania biomimetycznego w dziedzinie architektury. Niezdefiniowane *mimesis* powoduje problemy interpretacyjne dot. kwalifikacji obiektów budowlanych jako biomimetyczne. Występują liczne nadinterpretacje, w których bimorfizm lub zastosowanie jedynie naturalnych materiałów budowlanych lub wykończeniowych - np. zielonych dachów - powoduje fakt, iż całe obiekty architektoniczne określa się jako biomimetyczne. Działalność badawcza i projektowa w dziedzinie biomimetyki w architekturze prowadzona jest autorsko, na podstawie różnych kryteriów jej kwalifikacji. Występują braki literatury naukowej w języku polskim na temat biomimetyki w architekturze. Rozwiązaniem opisanej powyżej sytuacji jest zatem wykonanie szerokiej analizy dostępnych materiałów źródłowych, wyników badań oraz teorii architektury w aspekcie biomimetyki celem jednoznacznego określenia jej cech. Zaproponowano wielostopniowy system analizy danych zobrazowany w pkt. 5 niniejszego opracowania. Jednocześnie, celem sprawdzenia, czy biomimetyka leży w polu zainteresowań projektantów działających na polu architektury w środowisku zrównoważonym zaplanowano badanie metodą analizy danych historycznych mające na celu potwierdzenie lub zaprzeczenie przyjętym tezom.

1.5. Przyjęta teza pracy

Celem niniejszej dysertacji jest zaprzeczenie lub potwierdzenie po analizie dostępnych materiałów źródłowych, stanu badań nad przedmiotową problematyką i przeprowadzeniu autorskiego badania metodą analizy danych historycznych przedstawionych poniżej tez:

- **TEZA 1: Możliwe jest opracowanie zestawu cech pozwalających zakwalifikować obiekt architektoniczny do dziedziny obiektów biomimetycznych.**

Opracowanie powyższego zestawu cech pozwolić ma na sformułowanie kryteriów oceny dowolnego obiektu architektonicznego. Celem niniejszego opracowania jest jednocześnie sformułowanie minimalnych i maksymalnych kryteriów charakteryzujących biomimetyczny obiekt architektoniczny. Z uwagi na zaobserwowaną istotną zbieżność znaczenia biomimetyki z architekturą realizowaną zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, celem potwierdzenia znaczenia biomimetyki w w/w działaniu sformułowano drugą tezę, która podlegać będzie potwierdzeniu lub falsyfikacji po przeprowadzeniu badania metodą analizy danych historycznych na podstawie polskich i zagranicznych konkursów architektonicznych z dziedziny architektury w środowisku zrównoważonym:

- **TEZA 2: Biomimetyka ma duże znaczenie w projektowaniu architektonicznym w zrównoważonym środowisku zabudowanym.**

²⁷ Hanryk Katowicz – Kowalewski: *Architektura jako sztuka kształtowania procesów*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2010r.

1.6. Cel naukowy pracy

Celem naukowym pracy jest podsumowanie i usystematyzowanie dotychczasowej wiedzy z dziedziny bioniki architektonicznej oraz opracowanie komplementarnego źródła wiedzy na temat biomimetyki we współczesnej architekturze. Efektem pracy ma być również określenie autorskich kryteriów kwalifikacji obiektów architektonicznych jako bionicznych oraz sprawdzenie przyjętych kryteriów podczas badania naukowego. Badanie to ma za zadanie jednocześnie sprawdzenie zastosowalności analizy danych historycznych metodami statystycznymi do oceny obiektów architektonicznych oraz oceny znaczenia biomimetyki w określonym obszarze badania - konkursach architektonicznych dot. architektury środowiska zrównoważonego.

1.7. Przedmiot i zakres pracy

Przedmiotem niniejszej pracy jest podsumowanie aktualnego stanu wiedzy na temat biomimetyki w architekturze na podstawie dostępnych materiałów źródłowych ze wskazaniem rozwoju biomimetyki w ujęciu historycznym oraz współcześnie prowadzonymi badaniami na ten temat. Jednocześnie, przedmiot pracy obejmuje opracowanie na w/w podstawie autorskich kryteriów oceny i kwalifikacji obiektów architektonicznych oraz sprawdzenie zastosowalności przyjętej metody podczas badania przeprowadzonego na polskich i zagranicznych konkursach architektonicznych z dziedziny architektury zrównoważonego rozwoju. Wyznaczono cezurę czasową konkursów wynoszącą 10 lat: od 2008r. do 2018r.

1.8. Przyjęte metody badawcze

Metody badawcze szczegółowo omówiono w pkt. 5 niniejszej dysertacji. Badanie przeprowadzono za pomocą analizy danych historycznych - analizy porównawczej przy wsparciu metod zaczerpniętych z dziedziny psychologii społecznej. Zastosowanie analizy dużego zbioru danych metodami statystycznymi pozwala na opracowanie wniosków w zależności od zapytania. Pozwala na definiowanie różnorodnych zapytań oraz uaktualnienie badań poprzez sukcesywne uzupełnianie kolejnych rekordów, co bezpośrednio wpływać będzie na wynik globalny.

1.9. Definicje

W związku z koniecznością zachowania rzetelności prowadzenia rozprawy oraz logicznego rozróżnienia pojęć przedstawiono poniżej definicje, które pozwolić mają na jasną interpretację stwierdzeń użytych w niniejszej pracy.

1.9.1. Biomimetyka: (od gr. *bios* – życie, *mimesis* – naśladowanie: interdyscyplinarna nauka badająca budowę i zasady działania organizmów oraz ich adaptowanie w technice (zwłaszcza w automatyce) i budowie urządzeń technicznych na wzór organizmu. Stara się poznawać i wykorzystać procesy sterujące działaniem organizmów w różnych działach techniki, głównie w automatyce, elektronice i mechanice [s4].

Mimesis (tu: naśladowanie, imitacja, podobieństwo) została opisana prawdopodobnie po raz pierwszy w czasach starogreckich przez Platona (427 p.n.e. - 347 p.n.e.) w traktacie *Państwo*. Filozof zauważa, że zastosowanie *mimesis* oddala efekt działalności twórczej od prawdy stanowiącej tu funkcję absolutnego archetypu. Arystoteles (384 p.n.e. - 322 p.n.e.) przejmując to stwierdzenie wprowadzając jednak rozróżnienie, że *mimesis* jako akt twórczy ukazuje rzeczywistość nie tyle taką, jaką ona jest lecz taką, jaka powinna być wprowadzając jednocześnie znaczącą i nieprzypadkową działalność człowieka.

Termin *biomimetyka* został wprowadzony około 1950 roku przez Otto Schmitta (6.04.1913r. - 6.01.1998r.) - amerykańskiego wynalazcę, inżyniera i biofizyka. W 1956r. John Keto (kierownik Aeronautical System Division marynarki powietrznej USA) utworzył zespół, który podjął prace nad zbadaniem możliwości wykorzystania osiągnięć biologii w technice. W 1957r. powstał komitet mający na celu zbadanie właściwości systemów biologicznych dotyczących przetwarzania sygnałów i informacji. W 1958r. major Jack Steele (27.01.1924 – 19.01.2009) – emerytowany pułkownik marynarki powietrznej USA określił nową dyscyplinę terminem *bionics*. W 1960r. w Dayton odbyło się pierwsze sympozjum poświęcone bionice [s4]. Istotne z punktu widzenia rzetelności naukowej jest zdaniem autora rozróżnienie *biomimetyki* jako nauki całościowej, *bioniki* – jako zwyczajowo zarezerwowanej dla bioelektroniki oraz *biomimikry* – inżynierii bionicznej. Jednocześnie, każdy z wyżej wymienionych terminów poprzez dodanie słowa kluczowego (np. *bionika architektoniczna*, *biomimetyka w inżynierii*) jest wystarczającym logicznie zastosowaniem tych określeń.

1.9.2. Architektura w środowisku zrównoważonym (tu: zrównoważona architektura, zielona architektura, green architecture, sustainable architecture): architektura projektowana, budowana i użytkowana zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Przez zrównoważony rozwój zgodnie z polskim ustawodawstwem rozumie się rozwój, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń. Architektura zrównoważona stara się zminimalizować negatywny wpływ budynków na środowisko poprzez efektywne i zróżnicowane użycie materiałów, energii i organizacji przestrzeni. Zrównoważona architektura wykorzystuje świadome podejście do energii i ekologii w projektowaniu środowiska zbudowanego. Idea zrównoważenia lub projektowania ekologicznego służy zapewnieniu, że wykorzystywanie dostępnych zasobów nie powoduje szkodliwych skutków dla wspólnego dobra oraz że w dłuższej perspektywie możliwe będzie uzyskanie analogicznych zasobów dla innych aplikacji. Zgodnie z definicją przyjętą przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju przy ONZ: *Zrównoważony rozwój (Ziemi) to rozwój, który zaspokaja podstawowe potrzeby wszystkich ludzi oraz zachowuje, chroni i przywraca zdrowie i integralność ekosystemu (Ziemi), bez zagrożenia możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń i bez przekraczania długookresowych granic pojemności ekosystemu* (tu: Ziemi - aut.).²⁸ W Polsce zasada zrównoważonego rozwoju zyskała rangę konstytucyjną – została zapisana w art. 5 Konstytucji RP, a definicja zrównoważonego rozwoju znalazła się w cytowanej powyżej ustawie Prawo ochrony środowiska²⁹.

1.9.3. Architektura zeroenergetyczna: architektura budynków o zerowej energii netto (tzw. ZNE) oraz zerowej emisji dwutlenku węgla rocznie.

1.9.4. Architektura niskoenergetyczna: architektura budynków w których zastosowano dla ochrony cieplnej budynku, systemu wentylacji i szczelności powietrznej rozwiązania gwarantujące osiągnięcie wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji na poziomie nie przekraczającym 40 kWh/m (standard NF40 wg NFOSIGW³⁰).

²⁸ Stappen R. K., *Sustainable development*, s. 27–28, 2006r.[38]

²⁹ Dz. U. Poz. 799 z 2018r. - tekst jednolity

³⁰ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

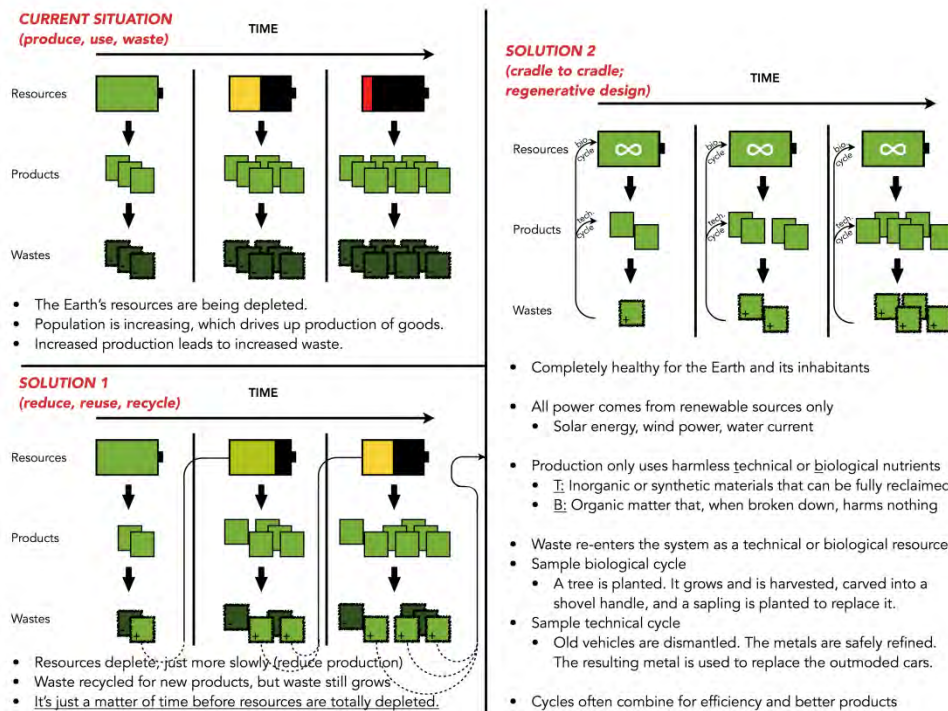
1.9.5. Architektura pasywna: architektura budynków w których zastosowano dla ochrony cieplnej budynku, systemu wentylacji i szczelności powietrznej rozwiązania gwarantujące osiągnięcie wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji na poziomie nie przekraczającym 15 kWh/m (standard NF15 wg NFOSIGW).

1.9.6. Architektura low-tech: architektura z gałęzi zielonej architektury budynków wznoszonych zwyczajowo w regionalnych technologia wykonanych z materiałów naturalnych i nieprzetwarzanych przemysłowo, jak np. kamień, drewno, glina i t.p.

1.9.7. Architektura high-tech: architektura stanowiąca przeciwieństwo architektury low-tech, w której implementowane są dostępne aktualnie nowoczesne technologie w zakresie zarówno materiałów budowlanych i jego konstrukcji jak i wyposażenia instalacyjnego.

1.9.8. Permakultura: gałąź projektowania ekologicznego, inżynierii ekologicznej i projektowania środowiska, tworząca zrównoważoną architekturę siedzib ludzkich i samoregulujące się systemy rolnicze na wzór ekosystemów naturalnych [s5].

1.9.9. Cradle to cradle (regenerative design): to biomimetyczne podejście do projektowania produktów i systemów, które modelują ludzki przemysł bazując na procesach zachodzących w przyrodzie badając materiały jako substancje odżywcze krążące w zdrowych organizmach. Model w najszerszym znaczeniu nie ogranicza się do projektowania przemysłowego i produkcji. Może być stosowany w wielu aspektach ludzkiej cywilizacji, takich jak środowiska miejskie, budynki, ekonomia i systemy społeczne. *Cradle to cradle* (od kołyski po kołyskę - aut.) jest parafrazą stwierdzenia *from cradle to grave* (od kołyski po grób - aut.) obrazującego liniowe podejście do projektowania systemu. Jest to idea, która ewoluując z **zero waste** podnosi ekologiczne podejście do egzystencji i działalności człowieka na kolejny poziom, co zobrazowane zostało na fot. 2.



fot. 2: Rozwiązania cechujące metodę C2C.

Diagram przedstawiony na stronie 11 ilustruje bieżącą sytuację (*ang. current situation*) cyklu "życia" produktów (produkcja - *ang.: produce*, używanie - *ang.: use* i przeznaczenie do utylizacji - *ang.: waste*) obrazując na osi czasu kolejne stopnie wyczerpywania się zasobów (*ang.: resources*) podczas przyrostu ilości produktów (*ang.: products*) oraz w związku z tym przyrostu ilości odpadów (*ang.: waste*). Jest to obraz liniowego, nie biomimetycznego podejścia do wytwarzania dóbr (tu: architektury) określanego mianem *from cradle to grave*. W bieżącej sytuacji:

- następuje postępujące zubażanie ziemskich zasobów,
- wzrost ludzkiej populacji jest wprost proporcjonalny do wzrostu zapotrzebowania na dobra,
- zwiększona produkcja związana z powyższą sytuacją powoduje zwiększenie ilości zanieczyszczeń.

Zaproponowane zostały więc dwa rozwiązania. Rozwiązanie pierwsze (*ang.: solution 1*) bazuje na zasadzie 3R (*ang.: reduce, reuse, recycle*). Jak łatwo zauważyć część zanieczyszczeń (*ang.: wastes*) poprzez proces przetworzenia (*ang.: recycling*) wraca do poziomu zasobów (*ang.: resources*). Sytuacja ta jednak implikuje kilka problemów:

- następuje zubażanie ziemskich zasobów - odbywa się to jedynie wolniej
- część odpadów jest przetwarzana na nowe produkty, ale ilość odpadów brutto stale rośnie
- jest tylko kwestią czasu, aż zasoby będą w całości wyczerpane.

Zasada *cradle to cradle* ujęta w rozwiązaniu 3 (*ang.: solution 3*) wydaje się być optymalnym rozwiązaniem. Zanieczyszczenia zostają w 100% unieszkodliwione krążąc w dwóch cyklach - technicznym i biologicznym. Rozwiązanie to:

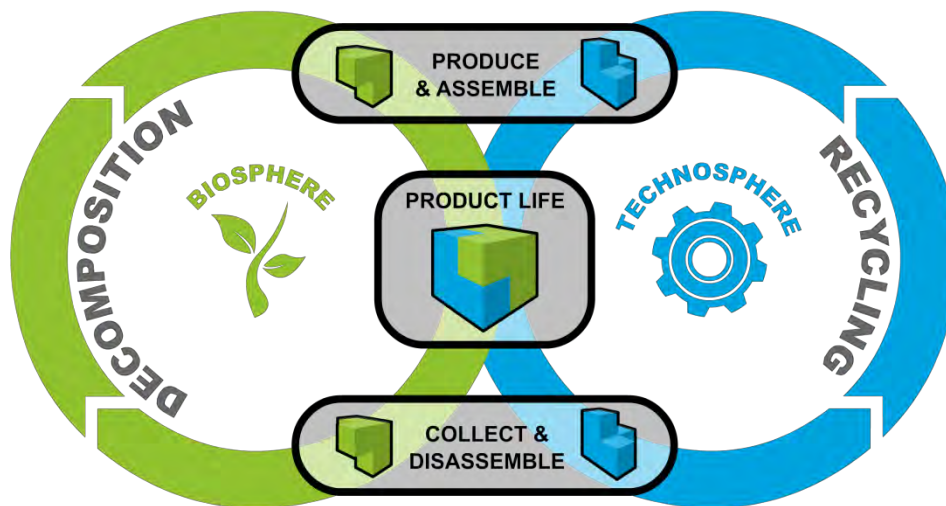
- jest całkowicie zdrowe dla Ziemi i jej mieszkańców,
- niezbędna do produkcji energia pochodzi z odnawialnych źródeł (słońce, wiatr, pływy)
- produkcja używa jedynie bezpiecznych, nietoksycznych składników "technicznych" i "biologicznych" (nieorganiczne i syntetyczne materiały mogą zostać w pełni odzyskane, materia organiczna pozostaje bez wpływu na zanieczyszczenie środowiska)
- odpady ponownie uczestniczą w systemie jako techniczne lub biologiczne zasoby,
- cykle mogą się łączyć dla uzyskania większej efektywności lub lepszego produktu.

Nie bez znaczenia pozostaje jednak fakt, iż w każdym z rozwiązań na linii produktów obserwowane jest zmniejszenie jednostek (zapotrzebowania) w stosunku do ilości oznaczonej w sytuacji bieżącej.

Stwierdzenie **cradle to cradle** zostało po raz pierwszy użyte i zdefiniowane przez Waltera R. Stahela³¹ w latach 70-tych. Obecnie jest zarejestrowanym znakiem firmowym McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC) consultants. W modelu *cradle to cradle* wszystkie materiały stosowane w procesach przemysłowych lub komercyjnych - takie jak metale, włókna, barwniki - należą do jednej z dwóch kategorii: "technicznych" lub "biologicznych" składników odżywczych. Techniczne składniki odżywcze są ściśle ograniczone do nietoksycznych, nieszkodliwych materiałów syntetycznych, które nie mają negatywnego wpływu na środowisko naturalne i mogą być używane w cyklach

³¹ Walter R. Stahel (ur. 5 lipca 1946r.) - szwajcarski architekt, współzałożyciel Product Life Institute w Genewie.

ciągłych jako ten sam produkt bez utraty integralności lub jakości. W ten sposób materiały te mogą być używane wielokrotnie, zamiast być przywracane (*ang.: downcycled*) do mniejszych produktów, ostatecznie stając się odpadami. Biologiczne składniki odżywcze są materiałami organicznymi, które po użyciu można usuwać w dowolnym środowisku naturalnym i rozkładać w glebie, dostarczając żywność dla małych form życia bez wpływu na środowisko naturalne. Jest to zależne od ekologii regionu - materiał organiczny z jednego regionu może być szkodliwy dla ekologii innego [18].



fol. 3: Ilustracja metody Cradle to Cradle

William McDonough³² przedstawia ramy projektowe charakteryzujące się trzema zasadami wywodzącymi się z natury:

1. Wszystko jest źródłem czegoś innego. W naturze "marnotrawstwo" jednego systemu staje się pożywieniem dla drugiego. Wszystko może być zaprojektowane do demontażu i bezpiecznego przywrócenia do gleby jako biologiczne składniki odżywcze, ponownie wykorzystane jako wysokiej jakości materiały do nowych produktów jako techniczne „składniki odżywcze” bez zanieczyszczeń.
2. Użycie czystej i odnawialnej energii. Żywe istoty rozwijają się dzięki energii słonecznej. Podobnie, działalność projektowa może wykorzystywać czystą i odnawialną energię w wielu formach - takich jak energia słoneczna, wiatrowa, energia geotermalna, energia grawitacyjna i inne systemy energetyczne, które są dzisiaj rozwijane. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii nie wymaga eksploatowania źródeł naturalnych, które jednocześnie są nieodnawialne (tu: wyczerpywalne) i ich eksploatacja nie pozostaje bez wpływu na środowisko naturalne.
3. Różnorodność. Geologia, hydrologia, fotosynteza i obieg składników odżywczych, dostosowane do lokalizacji, dają zdumiewającą różnorodność życia naturalnego i kulturowego. Projekty, które reagują na wyzwania i możliwości oferowane przez ekosystemy, w których prowadzone są działania projektowe skutecznie dopasowują się do własnych nisz.

³² William A. McDonough (ur. 20 lutego 1951r.), amerykański architekt, współzałożyciel MBDC, współautor *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*.

William McDonough, w anegdocie dotyczącej wycinki drzew podczas swojego wystąpienia o projektowaniu cradle to cradle na panelu TED [s6] zauważa: *Zaprojektujcie coś, co wytwarza tlen, oddziela węgiel, naprawia azot, destyluje wodę, kumuluje energię słoneczną jako paliwo, produkuje złożone cukry i żywność, tworzy mikroklimaty, zmienia kolory w zależności od pór roku i replikuje się. Może zetniemy coś takiego i będziemy na tym pisać?*³³

Idea cradle to cradle została zbudowana na obserwacji świata natury – biomimetyce i jej wprowadzanie ma na celu zaprzestanie szkodliwego wpływu działalności człowieka, która w dużej mierze prowadzi do wyczerpywania zasobów. Zmiana pradygmatu projektowania na model regeneracyjny minimalizuje wpływ architektury na środowisko naturalne i pokazuje możliwości do poprawy jakości architektury i jej potencjalną innowacyjność.

1.9.10. Zero waste: filozofia mająca na celu eliminację odpadów a tym samym zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska. W praktyce, filozofia ta sprowadza się do wdrożenia pięciu zasad (tu: 5R):

- **refuse** (pol.: odmawiaj): zasada polegająca na odmowie przyjmowania wszelkich produktów wyprodukowanych ze szkodą dla środowiska, które potencjalnie mogą generować zanieczyszczenia np. ulotki, opakowania jednorazowe, plastikowe rurki,
- **reduce** (pol.: ograniczaj): zasada polega na redukcji potrzeb i przedmiotów codziennego użytku celem prowadzenia możliwie minimalistycznego trybu życia,
- **reuse** (pol.: używaj ponownie): zasada polega na używaniu wielorazowych opakowań starając się maksymalnie wykorzystać posiadane produktu unikając pozbywania się ich, które to może generować zanieczyszczenia,
- **recycle** (pol.: segreguj i przetwarzaj): zasada polega na selektywnej zbiórce odpadów tak, aby po przetworzeniu mogły zostać ponownie wykorzystane,
- **rot** (pol.: kompostuj): zasada polega na kompostowaniu odpadków organicznych tak, aby otrzymać z nich energię (np. produkując gaz) lub naturalny nawóz [s7].

Ideologia zero waste będąc w swoim założeniu adaptowalną do sposobu funkcjonowania ludzi i społeczności stanowiła podstawę do opracowania zasad **cradle to cradle**, opisanych w pkt. 1.9.9 i stanowiących wytyczne dla szerszych pól ludzkiej aktywności jak gospodarka, przemysł czy budownictwo. Cradle to cradle rozwija m.in. element recyklingu dodając, że dany odpad po dokonaniu odpowiedniej segregacji może zostać przetworzony jeżeli wykonany został w sposób na to pozwalający i jego dekompozycja i przetworzenie nie będzie generować powstawania kolejnych zanieczyszczeń.

2. Ewolucja biomimetyki.

2.1. Ewolucja biomimetyki w ujęciu historycznym.

Biomimetyka jako sposób postrzegania projektowania, jak zostało to opisane, "narodziła" się w latach 50-tych ubiegłego stulecia. Zainteresowanie naturą jednak jako źródłem inspiracji zarówno architektonicznych, jak i związanych z wynalazczością rozpoczęło się prawdopodobnie już na przełomie ery nowożytnej i starożytności. Poniżej zaprezentowano kolejne, zaobserwowane powiązania świata inżynierii i architektury ze światem natury.

³³ https://www.ted.com/talks/william_mcdonough_on_cradle_to_cradle_design?language=pl#t-646687

- Zależność pomiędzy światem natury a architekturą opisuje prawdopodobnie po raz pierwszy Marcus Vitruvius Pollio - autor traktatu "O architekturze ksiąg dziesięć" powstałego pomiędzy rokiem 20 p.n.e. a 10 p.n.e. Poza sformułowaniem wyraźnych wytycznych dotyczących m.in. lokacji miast w związku z ich poprawnym oświetleniem i przewietrzaniem, znaczeniem wody - pozyskiwaniem jej i odprowadzaniem - w urbanistyce miast i architekturze budynków, które wskazują na poszanowanie naturalnego (tu: umiejscowionego w środowisku naturalnym) kontekstu działalności architektonicznej, Witruwiusz zauważa już w pierwszej księdze traktatu zależność architektury i natury [3]. *Jeśliby ktoś pragnął dokładniej to (że wszystkie ciała złożone są z czterech żywiołów zwanych przez Greków ζῆμζπτεία - stoicheia, a mianowicie z ciepła, wilgoci, ziemi i powietrza) zrozumieć, niech zwróci uwagę i obserwuje naturę ptaków, ryb i zwierząt lądowych; wtedy pozna odmienność układu żywiołów. Inny bowiem układ mają ptaki, inny ryby, zupełnie inny zwierzęta lądowe. Ptaki mniej mają części ziemi i wilgotności, średnią ilość ciepła, a wiele powietrza, złożone więc z lżejszych żywiołów łatwiej wzbijają się w powietrze. Ryby, przystosowane do wody, mają umiarkowaną ilość ciepła, znaczne ilości powietrza i ziemi, a bardzo niewiele wilgoci; im mniej mają wilgoci w stosunku do innych żywiołów, tym łatwiej żyją w wodzie, a przeniesione na ląd, pozbawione wody, tracą życie. Z drugiej strony zwierzęta lądowe składają się z umiarkowanej ilości powietrza i ciepła, mniej mają ziemi, a najwięcej wilgoci, i właśnie z powodu przewagi wilgoci nie mogą długo żyć w wodzie*³⁴.
- Liście akantu (łac.: *Acanthus*) stanowiące elementy detalu architektonicznego architektury starożytnej (m.in. w porządku korynckim) są motywem bezpośrednio zaczerpniętym ze świata natury. Podobnie też kanelurowanie oraz zmiana średnicy kolumny w przekrojach poprzecznych wzdłuż osi podłużnej (kolumny o przekroju "beczkowym" lub stożkowym) noszą znamiona optymalizacji kształtu, która mogła być efektem obserwacji naturalnie występujących struktur i zasad przenoszenia obciążeń - w tym przypadku ściskania bez wybożenia.

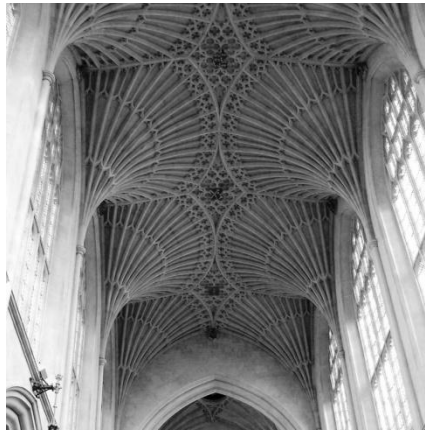


fol. 4: Kapitel kolumny w stylu korynckim.

- Sklepienie krzyżowe, niejednokrotnie podkreślone gurtami, stanowiące ewolucję sklepienia kolebkowego mogło być inspirowane obserwacją konstrukcji występujących naturalnie - np. żyłkowania liści.
- Detal architektoniczny gotyku płomienistego (fran.: *Flamboyant*), sklepienia gwiazdźdźiste oraz maswerki okien wielokrotnie wykazują biomorficzne, powtarzalne struktury, których inspiracją mogły być również obserwacje zaczerpnięte ze świata natury. Na szczególną uwagę zasługuje tutaj typ sklepienia wachlarzowego (ang.: *fan vault*), które jako pierwsze zastosowano w

³⁴ Marcus Vitruvius Pollio: *O architekturze ksiąg dziesięć*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999r.

katedrze w Gloucester pomiędzy 1351 a 1377r., a które stało się jednym ze znaków rozpoznawczych gotyku angielskiego.



fol. 5: Sklepienie wachlarzowe w Katedrze w Bath (Wielka Brytania).

- Na przełomie XV i XVI wieku, Leonardo di ser Piero da Vinci (ur. 15.04.1452r. w Anchiano, zm. 2.05.1519r. w Clos Lucé) opracowuje *Traktat o locie ptaków* (ang.: *Codex of the Flight of Birds*). Jest to zbiór podzielonych na dwie części pism i notatek, w których autor dokonuje studiów lotu ptaków (konstrukcji skrzydeł, oporu powietrza, prądów powietrznych) celem opracowania wytycznych do budowy pierwszej maszyny latającej. Brak jest informacji w kwestii powodzenia działania prawdopodobnie wykonanej konstrukcji, anatomiczne rysunki skrzydeł nietoperzy i botaniczne szkice Leonarda da Vinci pozwalają jednak z całą pewnością odnotować próbę transpozycji naturalnie występujących struktur do dziedziny inżynierii.
- W okresie od renesansu przez manieryzm, barok i klasycyzm w kwestii biomimetyki zaobserwować możemy również mniejsze lub większe skupienie uwagi na ornamentyce pochodzącej ze świata natury - zwykle roślinnej. Obiekty architektoniczne jako całość (tu: jedność funkcji, formy i konstrukcji) lub część (np. elewacja, dach) nie powstają w wyniku czytelnych inspiracji światem ożywionej lub nieożywionej natury pomimo faktu, iż źródłem teorii architektury dla w/w stylów jest wciąż dziesięcioksiąg Witruwiusza. Najbogatszym z wymienionych powyżej stylem obfitującym w roślinną ornamentykę jest barok.
- Przełom XIX i XX wieku przynosi drugą rewolucję przemysłową. W tym czasie, w odpowiedzi na historyzm XIX wieku (zgodnie z krzywą Krzyżanowskiego), której architektura opierała się na kontynuacji i przetwarzaniu minionych stylów powstaje secesja i następujący po niej modernizm w głównym nurcie stylu międzynarodowego oraz (co istotne dla niniejszego badania) nurcie modernizmu organicznego.
- W projektach belgijskiego, secesyjnego architekta nurtu organicznego - Victora Horta (1861-1947) dominują biomorficzne, miękkie linie detalu architektonicznego bezpośrednio zaczerpnięte z wzorców naturalnie występujących. Klatka schodowa Hotelu Tassel zaprojektowanego przez Hortę w latach 1892-1893 - uwidoczona na fot. 6 - dekorowana jest motywami z dynamicznej, wijącej się linii, umieszczonymi na ścianach, podłodze, balustradzie i kolumnkach. Podobne nawiązania do świata organicznego zaobserwować można w architekturze projektowanej m.in. przez Henry'ego van de Velde czy też Antonio Gaudiego.



foto. 6: Victor Horta, Maison Tassel - klatka schodowa, 1892-3

- Modernizm organiczny rozwijający się od początków XX wieku prezentuje prawdopodobnie po raz pierwszy podejście do natury wykraczające poza elementy sztukatorskie bądź aspekty formalne architektury krytykując jednocześnie nadmiar zdobień i ornamentykę architektury secesyjnej. Twórcy architektury nurtu organicznego uważali, że powinna stać się ona częścią przyrody. Hugo Häring³⁵ pisał, że *dążąc do odnalezienia kształtu, nie zaś do sztywnej formy, będziemy w zgodzie z naturą*. Architektura modernistyczna, zdaniem prekursorów, jako skierowana na potrzeby człowieka i oparta na naukowym pojmowaniu świata, powinna wypływać z żywotnych prądów natury, nie zaś być kreślona od linijki, co jednocześnie nie przeszkadzało jej twórcom w projektowaniu wyraźnie zdefiniowanych, kubicznych kształtów i form. Jednocześnie, istotą modernizmu organicznego była zorganizowana architektonicznie współzależność pomiędzy wnętrzem budynku a jego zewnętrzem zamiast dotychczas panującej izolacji. Przedstawicielami modernizmu organicznego byli m. in. Alvar Aalto, Frank Lloyd Wright i Hans Sharoun. Prawdopodobnie biomorficzne formy jednego z nurtów architektury secesyjnej oraz powstanie modernizmu w nurcie organicznym zapoczątkowało odmienne podejście do natury jednocześnie jako kontekstu dla działalności organicznej, jak i źródła poszukiwania inspiracji. Jest to początek ewolucji idei, która w latach 60-tych XX wieku zdefiniowana została jako bionika.



foto. 7, 8, 9: Kolejno od lewej strony: Hostel dla samotnych i nowożeńców zrealizowany w ramach konkursu WuWa – Wohnung Und Werkraum autorstwa Hansa Sharouna, Wrocław 1929r., Akademik Baker House autorstwa Alvara Aalto, Boston 1946r., Dom nad wodospadem autorstwa Franka Lloyd Wright'a, ok. Pittsburgha 1935r.

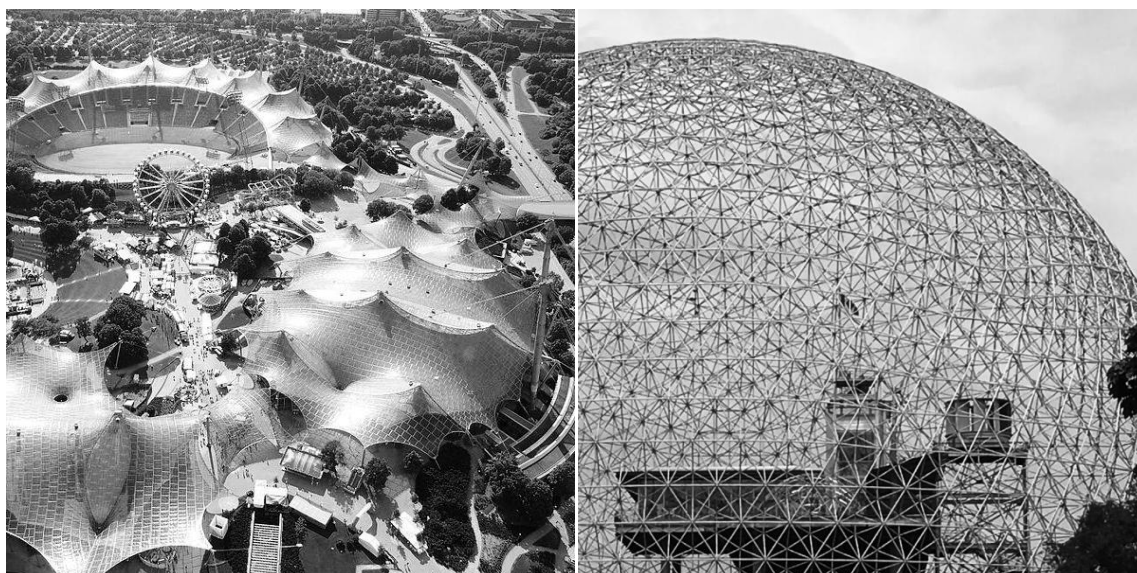
- Rozwój technologii zapoczątkowany przez 2 rewolucję przemysłową związany z użyciem stali, zbrojonego betonu oraz membran z tworzyw sztucznych wraz z jednoczesnymi narodzinami biomimetyki jako idei tworzenia form architektonicznych rozpoczyna nowy okres w

³⁵ Hugo Häring (1882-1958), niemiecki architekt modernistyczny, przedstawiciel ekspresjonizmu, prekursor funkcjonalizmu organicznego [s8].

projektowaniu konstrukcji. Prekursorami biomimetyki w projektowaniu konstrukcyjnym są Buckminster Fuller, Frei Otto, Pier Luigi Nervi oraz Felix Candela. W projektach każdego z wymienionych projektantów łatwo dostrzegalne są inspiracje naturalnie występującymi strukturami. Notabene cząsteczka węgla C60 nazwana została z uwagi na swój kształt „buckminsterfullerenem” lub „buckyball”, a nazwa „fulereny” przyporządkowana jest cząsteczkom węgla o parzystej ilości atomów. Optymalizacja rozwiązań konstrukcyjnych odnotowywana m.in. w Palazzetto Dello Sport autorstwa Nervi'ego lub kopule geodezyjnej na wyspie Świętej Heleny w Montrealu autorstwa Fullera jest działalnością stricte biomimetyczną.



fol. 10, 11: Kolejno do lewej strony: Palazzetto dello Sport autorstwa Pierre`a Luigi`ego Nervi`ego, Rzym 1958-1960r., Restauracja Los Monantiales autorstwa Felixa Candeli, Meksyk 1958r.



fol. 12,13: Kolejno od lewej strony: Park Olimpijski w Monachium: przekrycia autorstwa Frei Otto, Monachium 1972r., Montreal Biosphere autorstwa Buckminstera Fullera, Montreal 1967r.

2.2. Współczesne przykłady biomimetyki w architekturze.

Współczesne przykłady biomimetyki w architekturze opisane zostały w kolejnych rozdziałach niniejszej dysertacji – w dziale dotyczącym aktualnego stanu badań nad przedmiotową problematyką. Badania te, jak wspomniano, odbywają się w sposób ciągły a permanentna

wynalazczość w polu biomimetyki utrudnia określenie cezury czasowej dotyczącej architektury współczesnej. Autorami szeroko znanych, zrealizowanych obiektów architektonicznych z kręgu biomimetyki są m.in. Nicholas Grimshaw (*Eden Project*), Jorn Utzon (*Sydney Opera House*), Renzo Piano (*Jean Marie Tjibaou Cultural Centre*), Santiago Calatrava (*World Trade Centre Oculus*) czy też Jean Nouvel, autor *l'Institute du Monde Arabe*. Analiza kwalifikacji obiektów architektonicznych jako biomimetycznych - bądź też zaprzeczenie możliwości tej kwalifikacji - jest celem niniejszej dysertacji, pominięto jednak w powyższym wyszczególnieniu charakterystykę wymienionych obiektów celem nakreślenia tła badań i wprowadzenia w przedmiotową problematykę. Celem przedstawienia jednak zróżnicowanego podejścia do projektowania architektonicznego zgodnie z zasadami biomimetyki zdecydowano o prezentacji trzech zrealizowanych obiektów obrazujących różne okoliczności i powody powstania oraz różne, biomimetyczne sposoby kształtowania obiektów architektonicznych.

Shigeru Ban: Nine Bridges Country Club in South Korea

Michael Pawlyn³⁶ rozróżnia architekturę biomimetyczną oraz biomorficzną. Nie wyklucza jednak kształtowania organicznych form, które biomimetycznej optymalizacji - zarówno konstrukcyjnej jak i funkcjonalnej - nadają znaczenia. Znaczenie to przy udziale wysokich kwalifikacji rzemieślniczych oraz przy zastosowaniu naturalnego materiału (tu: drewna klejonego) obrazuje projekt Nine Bridges Country Club autorstwa Shigeru Bana. Widać tutaj wyraźną analogię z zaprezentowanym powyżej sklepieniem wachlarzowym w katedrze w Bath w Wielkiej Brytanii. Źródłem inspiracji kształtu słupów i "sklepienia" był prawdopodobnie kwiatostan (np. kwiatostan lilii) lub kształt trąbki Eustachiusza. Na uwagę zasługuje również fakt, iż zastosowanie tego rodzaju konstrukcji sklepienia jest zgodne ze strumieniem sił z obciążonej płaszczyzny dachu na poziom stóp fundamentowych co pozwala na optymalizację konstrukcyjną przekroju profili elementów składowych sklepienia.



fort. 14: Nine Bridges Country Club autorstwa Shigeru Bana, Yeosu-gun (Korea Południowa) 2009r.

Nicholas Grimshaw: Eden Project

Rozmowa o biomimetyce nie może odbyć się bez wspomnienia przełomowego dla jej idei obiektu, jakim bez wątpienia jest *Eden Project* autorstwa Nicholasa Grimshawa z zespołem, którego jednym z członków był notabene wspomniany Michael Pawlyn. Kształt obiektu zainspirowany został kształtem muszli. Optymalizacja konstrukcji zaczerpnięta z opracowanej uprzednio przez Fullera kopuły geodezyjnej, która notabene prawdopodobnie powstała z inspiracji mikroskopowym powiększeniem oka muchy lub kształtu promienic, oraz zastosowanie lekkich, pneumatycznych, mogących regulować nasłonecznienie wypełnień dla zorganizowania możliwie naturalnego mikroklimatu dla wewnętrznych „biomów” jest kwintesencją biomimetyki. Czas

³⁶ Osoba, działalność i publikacje Michaela Pawlyna opisane zostały w rozdziale 3.1.3 niniejszej dysertacji.

powstania obiektu determinował zastosowanie ETFE do produkcji pneumatycznych „komórek” wypełnienia. Zastosowanie zamiast tego biopolimerów prawdopodobnie dopełniłoby biomimetycznego znaczenia projektu zgodnie z zasadami cradle to cradle.



Fot. 15: Eden Project autorstwa Nicholas Grimshaw and Partners, St. Austel (Wlk. Brytania) 2001r.

Charlie Paton, Philip Davies, Reinier Wolterbeek: Seawater Greenhouse in Oman

Seawater Greenhouse w Omanie jest dowodem, iż nie jest warunkiem koniecznym, aby architektura biomimetyczna posiadała biomorficzny kształt. Nie jest istotne też, aby była spektakularna. Ważne jest natomiast aby była ona lokalnie zaangażowana. Aby jej działanie nie wpływało negatywnie na środowisko, w którym jest usytuowana. Seawater Greenhouse w Omanie jest szklarnią, która pozyskuje wodę z bryzy morskiej, która ulega odsalaniu w naturalnym procesie parowania, przy użyciu wysokiej temperatury otoczenia. W zaprojektowanym systemie nie występują odpady. Sól morska jest wykorzystana w celach spożywczych, odsolona woda odżywia rośliny wewnątrz szklarni a jej nadwyżki wykorzystane są w okolicznych sadach. Całość systemu zasilana jest w energię elektryczną za pomocą ogniw fotowoltaicznych. Ogólnie rzecz ujmując jest to więc sytuacja, w której działalność ludzka na przedmiotowym terenie spowodowała sytuację, w której każdy z jego użytkowników osiąga ewidentny zysk bez ponoszenia kosztów.



fol. 16: Seawater Greenhouse w Omanie, autorzy: Charlie Paton, Philip Davies, Reinier Wolterbeek

2.3. Architektura i bionika J. S. Lebediewa.

Lebediew jest autorem jedynej dostępnej na polskim rynku wydawniczym publikacji czy też podręcznika dotyczącego biomimetyki (tu: bioniki) i architektury [4]. Jest to pozycja komplementarna obrazująca biomimetykę w szerokim spektrum w różnych perspektywach – w ujęciu historycznym, ewolucji architektury oraz m.in. materiałowym. Autor dokonuje podziału i systematyzacji obiektów z kategorii bioniki architektonicznej oraz - co z uwagi na czas powstania książki można uznać za nowatorskie – zauważa aspekt ekologiczny w/w obiektów. W związku z faktem, iż jest to pozycja wielokrotnie cytowana w krajowych i zagranicznych artykułach naukowych oraz wymaga zdaniem autora pracy szerokiego komentarza, który pozwoli oderwać merytorykę pracy od uwarunkowań politycznych czasu jej powstania – zdecydowano na poświęcenie „Architekturze i bionice” J.S. Lebediewa odrębnego podrozdziału.

W rozdziale wprowadzającym zagadnienie bioniki w architekturze zauważone zostaje, iż forma, funkcja i konstrukcja obiektów są nierozzerwalnymi w świecie przyrody i ich zdolności adaptacyjne oraz możliwości przenoszenia różnorodnych obciążeń zostały potwierdzone erami ewolucji. Natura w sposób zaprogramowany na wzrost buduje formę dla kolejnych funkcji. Lebediew twierdzi jednak, że *bionika architektoniczna nie styka się bezpośrednio ze społecznymi procesami mającymi swoje odzwierciedlenie w architekturze oraz w żadnym stopniu nie zajmuje się przenoszeniem biologicznych praw rozwoju na zasady rozwoju społecznego*³⁷. Prawdopodobnie uwarunkowania polityczne czasu powstania książki spowodowały konieczność wprowadzenia w/w stwierdzenia, które aktualnie stoi w sprzeczności z wiedzą na temat znaczenia biomimetyki w kształtowaniu przestrzeni (tu: społecznej) oraz wpływem zaimplementowanych do świata architektury rozwiązań na społeczeństwo. Zasada cradle to cradle i oczywisty wpływ architektury (w tym architektury biomimetycznej) jako sztuki kształtowania przestrzeni na jej użytkowników (ich stan psychofizyczny i rozwój) zaprzecza wyraźnie konstatacji Lebediewa.

Lebediew rozwija metodę analogii funkcjonalnych jako narzędzie *do porównywania zasad oraz środków formotwórczych występujących w architekturze i w przyrodzie*³⁸ zwracając uwagę na "zasadę wzajemnej zgodności" wprowadzoną przez fizyka Nielsa Bohra i dostrzegając jednocześnie konieczność znajomości przyrody (wiedzę przyrodniczą) tak, aby organizm i jego środowisko traktować jako jedność. Profesor Andrzej Samek (rozdział 3.3.2) podkreśla istotę kształcenia projektantów - bioników w obu kierunkach nauki: inżynierii i nauki o środowisku. Zauważony zostaje również ewolucyjny aspekt rozwoju natury, który autor przyrównuje do rozwoju architektury jemu współczesnej. Starając się opracować podstawowe zasady kształtowania form odnotowany zostaje istotny fakt integracji w świecie natury rozwoju ze wzrostem, co zobrazowane zostaje przenikającymi się stożkami - górny - stożek wzrostu i dolny - stożek rozwoju - zorientowanymi pionowo i zwróconymi wierzchołkami do siebie. Jest to analogia do korony i systemu korzeniowego drzew i krzewów, których struktura zapewnia optymalne warunki rozwoju poprzez szeroko rozbudowany system korzeniowy i wzrostu poprzez korony stanowiące bazę dla fotosyntetyzujących liści. Ponadto wprowadzona zostaje zasada dyferencjacji oraz integracji, które zobrazować można poprzez zmniejszenie przekroju przy zachowaniu połączenia co podkreśla analogię do budowy koron drzew i stosowane jest - zdaniem autora - m.in. w urbanistyce.

Lebediew zwraca uwagę na fakt, iż w naturze obserwujemy - celem optymalizacji przepływu sił z jednoczesnej minimalizacji zużycia materiału - tendencje do standaryzacji i powtarzalności struktur lub / i rozwiązań. Pawilon USA na wystawie Expo-67 w Montrealu projektu B. Fullera jest doskonałym - zdaniem autora - przykładem standaryzacji i powtarzalności struktury przy zachowaniu stałej siły ściskającej w węzłach. Inspiracją do wykonania przez B. Fullera projektu kupuły geodezyjnej i jej pochodnych były prawdopodobnie obserwacje astronomiczne w połączeniu z obserwacją mikroskopową oka muchy lub też promienic.

³⁷ J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*; Arkady; Warszawa; 1983r.

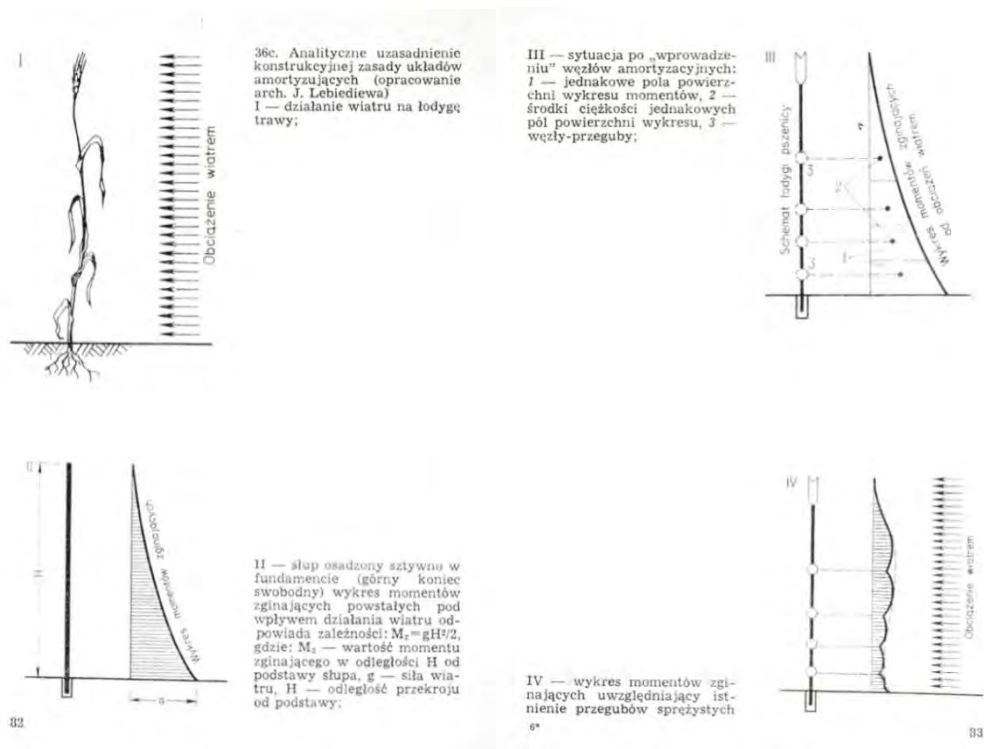
³⁸ Ibidem

Jednym z podstawowych pól zainteresowań projektantów - bioników jest inżynieria materiałowa. Jedność formy i mechanicznych właściwości konstrukcji dostrzegane w opisanej powyżej kopule geodezyjnej przy jednoczesnej optymalizacji materiałowej stanowią idee fix bionicznego projektowania. Jak zauważa Lebediew - przedmiotem zainteresowania projektantów z biomimetycznego punktu widzenia jest nie tyle sam materiał jako surowiec, ale jego określone właściwości i okoliczności pracy. Kluczowe jest tutaj zrozumienie sposobu działania, a nie określenie parametrów (tzn.: wytrzymałości na ściskanie, zginanie, rozciąganie, właściwości termiczne i.t.p.), które to powinno być wobec niego wtórne. Podstawową różnicą bowiem pomiędzy materiałami budowlanymi, a naturalnie występującymi w przyrodzie jest niejednorodność ich struktury. Tkanki roślinne i zwierzęce posiadają skomplikowaną, niejednorodną materiałowo strukturę, która bezpośrednio wpływa na ich konstrukcję, transport substancji odżywczych (tu: energii), sposób poruszania się czyli funkcjonalność oraz możliwości adaptacyjne w związku ze zmieniającym się klimatem. Co istotne, istnieje wiele sprężystych tkanek, nie zaliczanych przez botanikę do kategorii mechanicznych, a w efekcie zdolnych do przejmowania kompleksowo działających sił (np. zginania połączonego z skręcaniem i ścinaniem). Lebediew odnotowuje fakt, że *w odróżnieniu od stali mechaniczne tkanki roślinne zachowują się aż do granicznej wytrzymałości zgodnie z prawem Hooke'a (ewentualnie z małymi odchyleniami), nie posiadając charakterystycznych dla stali stanów pośrednich*³⁹. Prawdopodobnie odpowiedzialną za tą sytuację jest woda, która występuje w tkankach roślinnych czasem nawet w 80-90% i emulując sprężystość przeciwdziała „przesztywnieniu” struktury, która permanentnie narażona jest na różne kierunki i zwroty wektorów sił zewnętrznych. Warto również zwrócić uwagę na fakt, iż nie tylko struktura konstrukcyjno materiałowa roślin może stanowić inspirację. Połączenie szkieletu z tkankami mięśniowymi zwierząt oraz ludzi obrazuje doskonały w swojej budowie mechanizm, który strumień sił sprowadza generalnie do sił ściskających, które oddziałują na układ kostno-szkieletowy oraz rozciągających, które oddziałują na układ mięśniowy. Permanentna równowaga pomiędzy ścisaniem i rozciąganiem - tzw. tensegrity - organizmów w ruchu jest sytuacją, która została wykształcona w świecie natury na długo przed faktem jej zauważenia. Lebediew zauważa również fakt występowania „tworzyw biologicznych”, których właściwości mechaniczne zależą od zewnętrznych warunków klimatycznych - np. wilgotności - oraz rejonu występowania. *Nawet woda i substancje gazowe w określonych specyficznych warunkach (np. sprężone w syntetycznych powłokach) stają się tworzywem konstrukcyjnym. Tworzywo to pozwala na wznoszenie sprężystych, statycznych i bardzo lekkich konstrukcji, których pierwowzory łatwo znajdziemy w przyrodzie*⁴⁰.

W rozdziale dotyczącym typów i rodzajów elementów konstrukcyjnych inspirowanych strukturami naturalnie występującymi w przyrodzie wskazana zostaje przez Lebediewa analogia konstrukcyjnych elementów ściskanych (np.: słupów, wież) w stosunku do przekroju łodyg (np. Eriophorum). Biomimetyczne, wstępnie sprężone słupy, np. drzewa, powstałe w wyniku nierównomiernego wzrostu rdzenia i struktury zewnętrznej, w których rdzeń rośnie szybciej niż nabłonek (w związku z czym powstaje różnica naprężeń) stanowią analogię do wstępnie sprężanych konstrukcji w budownictwie, w których np. dla elementów żelbetowych, wstępnie wprowadzone naprężenie stali zbrojeniowej wpływa na wytrzymałość i nośność elementów. Odnotowany zostaje również wpływ smukłości elementów na oddziaływujące na nie siły poziome oraz fakt, iż natura wprowadza węzły amortyzujące dla niwelacji reakcji w podstawie wspornika. Obrazowo ilustrując opisaną sytuację, autor przedstawia tzw. „analityczne uzasadnienie konstrukcyjnej zasady układów amortyzujących na przykładzie łodygi trawy” zobrazowane na fot. 17.

³⁹ Dla stali granica proporcjonalności jest znacznie niższa od granicy wytrzymałości i już przy naprężeniach wyższych $R=200\text{MPa}$ stal przestaje zachowywać się zgodnie z prawem Hooke'a i zaczyna „płynąć”. Dopiero blisko granicy wytrzymałości, dzięki pewnym zmianom w krystalicznej strukturze stali, występuje końcowy opór materiału – doraźna wytrzymałość na rozerwanie [4].

⁴⁰ J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*; Arkady; Warszawa; 1983r.



fol. 17: Analityczne uzasadnienie konstrukcyjnej zasady układów amortyzujących.

Jak łatwo zauważyć, wartość siły poziomej (w tym przypadku przeanalizowano jedynie obciążenie wiatrem) zostaje znacząco zmniejszona w przypadku wprowadzenia przegubów sprężystych w strukturę słupa, który bez nich działałby jak wspornik z wykresem reakcji w formie hiperboli. Na sztywność okładu – jak zostało zauważone wpływ ma również zmiana przekroju słupa oraz jego ewentualne kanelurowanie. Trudno jest wyobrazić sobie bezpośrednią analogię rozwiązania w stosunku do projektowanych słupów, których podstawowym zadaniem jest przenoszenie obciążeń pionowych poprzez wytrzymałość na ściskanie bez wyboczenia. Jest to jednak podstawa do rozpoczęcia badań nad teorią sprężystości w architekturze zarówno w aspekcie konstrukcyjnym jak i zasadności jej w aspekcie funkcjonalnym.

Lebediew wskazując przykłady realizacji biomimetycznych konstrukcji, w części dotyczącej powłok i łupin przywołuje ideę „pracy po powierzchni powłoki” P.L. Nerviego, który uwagę na konieczność optymalizacji grubości powłoki i rozpiętości konstrukcji twierdząc, iż *taką konstrukcyjną zdolność mechanicznej odporności kształtu często spotykamy w otaczającym nas świecie przyrody: w kielichach kwiatów, trzcinach, skorupkach jaj, pancerzach owadów, muszlach, i.t.p.*⁴¹ Ilość inspiracji dla powłok, łupin i tarczownic w świecie natury jest niezliczona. Zasadą jest tutaj jednak równomierny rozkład naprężeń na całej powierzchni powłoki. Nie występują momenty zginające, a wszelkie naprężenia, dzięki niewielkiej grubości skierowane są wzdłuż stycznych do powierzchni powłoki.

W siatkowych i żebrowych układach konstrukcyjnych, jak zauważa autor, występują dwa rodzaje elementów strukturalnych – nośne (konstrukcyjne) i wypełniające (niekonstrukcyjne). Materiał nośny lokalizowany jest w tym przypadku wzdłuż linii największych naprężeń. *Struktury kratowe (natomiast – aut.) stwarzają możliwość przekrywania znacznych przestrzeni, uporządkowanych i wykorzystywanych (łącznie z przestrzenią międzykratową) pod względem architektoniczno-funkcyjnym. Tym samym przypominają one – oglądane w silnym powiększeniu – siatki molekularne lub krystaliczne, komórkową strukturę roślin, porowate*

⁴¹ J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*; Arkady; Warszawa; 1983r.

*organizmy gąbek morskich, i.t.p.*⁴² Warto wspomnieć tutaj geometrię kratownic Mitchella (której źródła łatwo dostrzec analizując przekrój podłużny kości) i w analogii do niej metodę strumienia sił opracowaną przez prof. Wacława Zalewskiego.

W konstrukcjach prętowo-ciężnowych, pręty pracują jedynie na ściskanie, ciężna – na rozciąganie. Z uwagi na fakt, iż ciężna w stanie nienaprężonym są elastyczne (vide: niestabilne), konstrukcje tego typu nazywane są chwilowo-zmiennymi. Ustrój ten łatwo przyrównać do konstrukcji szkieletu oraz struktury mięśniowej człowieka, gdzie kości są permanentnie (w różnych strefach) ścisane, mięśnie natomiast rozciągane. Konstrukcjami, gdzie zasada ta została zaimplementowana są różnego stopnia układy tensegrity (*tension* – naprężenie, *integrity* – integralność), a przykładami obiektów, w których z zasady występują jedynie siły ścisające i rozciągające są konstrukcje ciężnowe i powłoki projektu Frei Otto.

Dzięki utrzymaniu wewnątrzkomórkowego ciśnienia osmotycznego (tu: ciśnienia soków komórkowych) oraz napięciu, część roślin (m.in. z grupy Sukulentów) utrzymuje elastyczność i sprężystość. Tracą ją one oczywiście w momencie oderwania od struktury rośliny. Analogią do w/w układu, jak zauważa Lebediew są konstrukcje pneumatyczne, w których zapewnienie optymalnego wypełnienia (np.: typu gazu, temperatury, ciśnienia) elementów składowych zapewnia integralność całej struktury. Zasadą kluczową jednak dla poszukiwania inspiracji dla tego typu struktur w świecie natury jest odnajdywanie form posiadających minimalny współczynnik aerodynamicznych oporów. Są to delikatne w swojej strukturze ustroje konstrukcyjne wymagające uwzględnienia specyficznych, dynamicznych czynników środowiska zewnętrznego. Znaczenie ma tutaj również zmiennokształtność oraz synergetyka projektowanych obiektów.

W części dotyczącej modelowania form biomimetycznych Lebediew wprowadza autorskie kryteria oceny przydatności oraz możliwości przetransponowania form biologicznych dla potrzeb architektury:

- kryterium funkcjonalności: zgodność formy przyrody i zasad ich budowy z zadaniami architektonicznych struktur przestrzennych,
- kryterium ekologiczne: ocena naturalnego środowiska badanego organizmu i porównywanie jego parametrów klimatycznych z warunkami ekologicznymi potencjalnego miejsca budowy,
- kryterium technologiczne: sprawdzenie konstrukcyjnej racjonalności form biologicznych i możliwości wykorzystania zasad ich budowy,
- kryterium estetyczne: zgodność estetycznych wartości form biologicznych z aktualnymi estetycznymi potrzebami człowieka.

Jego zdaniem, podstawowym rodzajem modeli w bionice architektonicznej modele przestrzenne, którym podporządkowane są modele obliczeniowe. Prawdopodobnie najbardziej zwodniczym i najczęściej pojawiającym się błędem projektowym w strukturach przestrzennych inspirowanych naturą jest tzw. błąd skali. Polega on na tym, iż podobieństwo geometryczne nie oznacza podobieństwa właściwości fizycznych i najprościej zrozumieć go obrazowym przykładem gołębia. Gdyby został on 100x powiększony, przy jednoczesnym stukrotnym przyroście swojej masy – nie byłby w stanie wznieść się w powietrze.

Interesujący z punktu widzenia czasokresu powstania książki jest fakt, iż autor zauważa zależność pomiędzy ekologią a bioniką architektoniczną. Dokładnie rzecz ujmując, odnotowany zostaje fakt, iż organizmy w swoim naturalnym środowisku wykorzystują swoją funkcję oraz strukturę do zapewnienia optymalnych warunków wzrostu i rozwoju. Występuje zasada regulowania insolacji oraz zmniejszenia masy dla zaoszczędzenia energii. Analogią do ścian osłonowych lub fasad wentylowanych regulujących wpływ warunków atmosferycznych na wnętrze

⁴² J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*, Arkady, 1983r.

budynku są zewnętrzne tkanki roślin. Zainspirowane naturalnie występującymi zjawiskami są też automatycznie sterowane przekrycia pneumatyczne lub konstrukcje wykorzystujące termikę gazów.

Lebiediew kończy swoją pracę próbą autorskiego podsumowania w formie rozprawy nad kwalifikacją form architektonicznych jako bionicznych zadając pytanie: Co nazywamy bioniczną formą architektoniczną? Jego zdaniem *forma krzywoliniowa choć tak rozpowszechniona w przyrodzie nie jest jeszcze wystarczającym kryterium*⁴³ do kwalifikacji jej jako bionicznej. Wymienione zostają kryteria graniczne pozwalające, zdaniem Lebiediewa, do kwalifikacji takiej formy. Są to kolejno:

- *logika formy,*
- *wyrafinowanie kształtu,*
- *lekkość,*
- *przestrzenność form kształtowanych w trzech wymiarach,*
- *krzywoliniowość konturu,*
- *płynność i wyrazistość linii,*
- *„żywość” linii przewijająca się w różnorodności jej charakterystyki*⁴⁴.

Podkreślona zostaje dodatkowo konieczność łącznego zachowania wszystkich powyższych kryteriów do zakwalifikowania formy jako bionicznej. Pomimo wyraźnego rozróżnienia formalizmu od twórczej interpretacji wydaje się, że autor zaprzecza sam sobie podkreślając konieczność zachowania krzywoliniowego konturu i jednocześnie płynności i wyrazistości linii. Forma plastra miodu - zbiór stycznych krawędziami sześcioboków - tak często występujący w projektowaniu konstrukcji (np.: kopuły geodezyjne), budownictwie (np.: wypełnienia skrzydeł drzwiowych) oraz projektowaniu architektonicznym (np. Dymaxion House B. Fullera) zapewne nie zachowuje płynności linii. Jego kontur niekoniecznie jest również krzywoliniowy przy czym analogia do swojego wzorca - plastra miodu - jest permanentnie czytelna. Prawdopodobnie, ze względów również politycznych, próbując zdyskredytować swobodę projektowania i jego swoisty mistycyzm na rzecz utilitaryzmu, Lebiediew pozwala sobie na krytyczny komentarz wobec Antonio Gaudiego pisząc, iż *nieprzemysłane i machinalne kopiowanie form przyrody nie może przynieść architekturze żadnych pozytywnych rezultatów. Formalistyczne traktowanie tematu może doprowadzić jedynie do tworzenia niedoskonałych, prymitywnych kopii przyrody, nigdy zaś harmonijnej formy architektonicznej.*⁴⁵ Wydaje się, że należałoby raczej dostrzec, iż bionika w architekturze nie jest powtórzeniem secesji. Jest jej ewidentnym następstwem w tym sensie, iż można wykazać, że zainteresowanie strukturami konstrukcyjnymi i formami naturalnie występującymi w przyrodzie rozpoczęło się zapewne jeszcze przed rokiem 1950, kiedy po raz pierwszy użyto sformułowania „biomimetyka”. Jednocześnie, zauważalna jest tutaj zbieżność rozwiniętej później m.in. przez Michaela Pawlyna lub Alicję Maciejko zasady oddzielenia biomorfizmu (tu: analogii formy) od biomimetyki (tu: analogii funkcji).

Kończąc, Lebiediew wprowadza interesujące spostrzeżenie dotyczące aspektu regionalnych odrębności architektury bionicznej w kontekście zaniku architektury regionalnej. Prawdą jest, że z uwagi na lokalne warunki klimatyczne, świat przyrody wykazuje regionalne zróżnicowanie (wpływ klimatu na możliwości biomimetyki w architekturze opisano w pkt. 1.3.3 niniejszej pracy). Zgodnie więc z tą logiką, lokalne inspiracje prowadzą do lokalnych realizacji. Krąg architektury biomimetycznej zachowałby tym samym swoją regionalną odrębność. Z drugiej jednak strony,

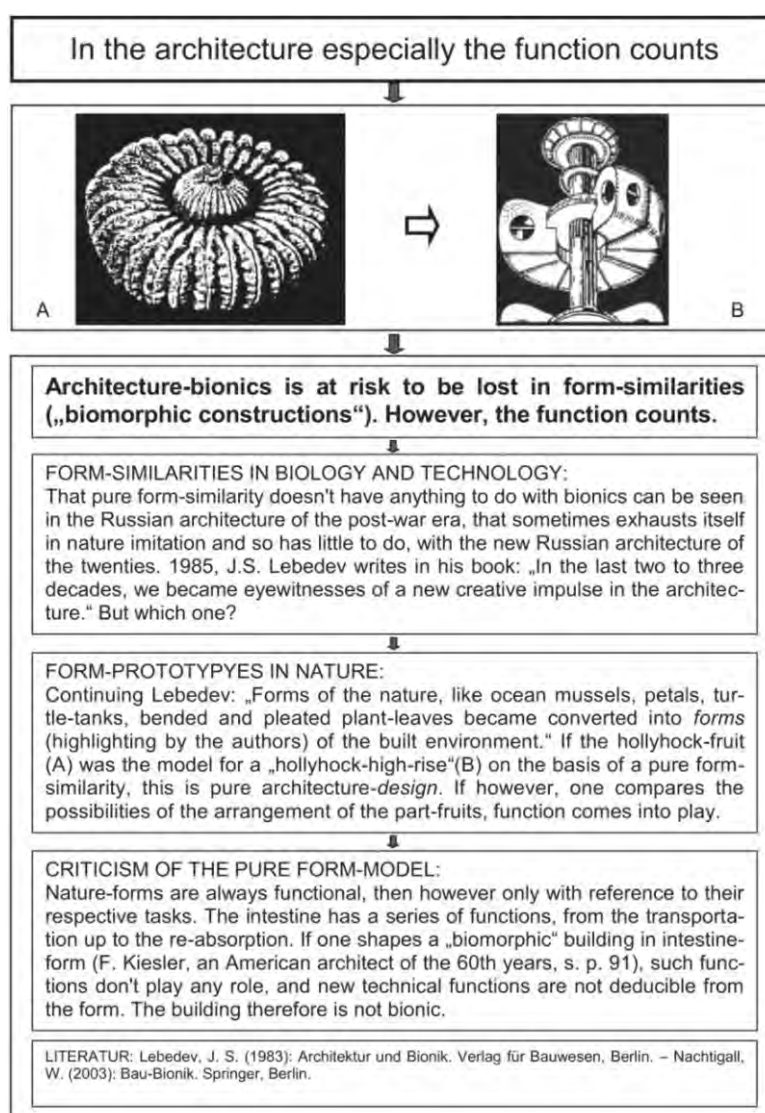
⁴³ J.S. Lebiediew: *Architektura i bionika*; Arkady; Warszawa; 1983r.

⁴⁴ Ibidem

⁴⁵ Ibidem

pomimo faktu, iż brak jest możliwości naturalnego⁴⁶ hodowania storczyków na przykład na terytorium Polski, trudno regulować możliwość analizy jego formy czy struktury celem inspiracji działań architektonicznych.

Komentarz wobec poglądu J.S. Liebediewa dotyczącego podobieństwa form naturalnych i biomimetycznych (notabene popartego przykładem własnej pracy) prezentują Werner Nachtigall i Alfred Wisser [37]. Zaznaczają oni, że pozbawione pogłębionej analizy funkcjonowania badanej, naturalnej struktury przeniesienie jej do dziedziny architektury rodzi struktury biomorficzne, nie natomiast biomimetyczne. Architektura staje się w ten sposób imitacją i nie wynika z inspiracji, analizy, procesu myślowego i twórczego, a raczej z przeniesienia wprost swojej obserwacji. Nachtigall i Wisser zauważają, że formy występujące w naturze są zawsze funkcjonalne lecz w odniesieniu do poszczególnych zdań stawianych przed danym organizmem. *Jelito ma szereg funkcji, od transportu po ponowną absorpcję. Jeśli ktoś kształtuje „biomorficzny” budynek w formie jelita, takie funkcje nie odgrywają żadnej roli, a nowe funkcje techniczne nie są dedukowane z formy. Budynek nie jest więc bioniczny⁴⁷.*



fol. 18: Biomimetyka formy i funkcji w odniesieniu do *Architektury i bioniki* J.S. Liebediewa.

⁴⁶ Bez zapewniania sztucznie wytworzonego przez człowieka mikroklimatu.

⁴⁷ Werner Nachtigall i Alfred Wisser: *Bionics by Examples*, Springer International Publishing, 2015r.

3. Aktualny stan badań nad przedmiotową problematyką.

Rozwój współcześnie prowadzonych badań dotyczących biomimetyki w architekturze, podobnie do opisu jej historii, określa działalność projektantów, grup badawczych oraz teoretyków architektury (niejednokrotnie zrzeszonych w interdyscyplinarnych zespołach) zrównoważonego rozwoju. Przedstawiony poniżej aktualny stan badań więc podzielono względem przyporządkowania osobom lub grupom badawczym działów wynikających z analizy ich dorobku projektowego i naukowego. Jednocześnie, rozdziały 3.1 - 3.11 zobrazować mają możliwe szerokie spektrum aktualnie prowadzonych badań i prac naukowych.

3.1. Biomimetyka w architekturze zrównoważonego rozwoju.

3.1.1. Terreform ONE (Open Network Ecology) – multidyscyplinarny aspekt biomimetyki.

Terreform ONE jest założoną w 2006 roku organizacją non-profit i urbanistycznym think-tankiem skupiającym swoje działania na promowaniu architektury zrównoważonego rozwoju. Organizacja ta założona została przez absolwenta MIT, stypendystę Fulbrighta, profesora New York University Mitchella Joachima oraz Marię Aiolovą – projektantkę, badaczkę architektury zrównoważonego rozwoju, wykładowczynię akademicką i posiadaczkę 18 patentów rozwiązań inżynierskich. Intencją Terraform one jest wspieranie działań społecznościowych i rozwiązań w zakresie planów nadrzędnych w obszarach znajdujących się w niekorzystnej sytuacji, które nie mają bezpośredniego dostępu do wykwalifikowanych architektów i urbanistów. Organizacja stara się inspirować unikalne rozwiązania w zakresie globalnego, zrównoważonego rozwoju w następujących kategoriach: jakość powietrza, inteligentna mobilność, energia odnawialna, infrastruktura, dostęp do żywności, recykling odpadów, czysta woda i sprawiedliwa gospodarka. Grupa stara się zachęcać do publicznego doceniania licznych metod, w których architektura i urbanistyka poprawiają ludzkie życie. Jest to, jak twierdzą założyciele: *wyjątkowe laboratorium specjalistów o zróżnicowanym pochodzeniu dyscyplinarnym, które pozwala odkrywać i rozwijać szersze ramy socjo-ekologicznego projektowania. Grupa opracowuje innowacyjne koncepcje i technologie na rzecz lokalnego zrównoważenia w zakresie energii, transportu, infrastruktury, budynków, przetwarzania odpadów, żywności i wody. Te nowatorskie projekty badawcze pochodzą z dziedziny projektowania, inżynierii i biologii syntetycznej.*⁴⁸

Terreform ONE przyznaje coroczne nagrody, tzw. ONE Prize za działalność na rzecz zrównoważonego rozwoju dla „zielonej urbanizacji”. W składzie jury zasiada między innymi Bjarke Ingels – założyciel BIG (Bjarke Ingels Group). Jednocześnie, organizacja ta prowadzi ONE LAB oraz TerreFarm – elitarne szkoły (przyjmowanych jest ok. 40 osób rocznie) prowadzące zajęcia dotyczące biologii syntetycznej, rolnictwa miejskiego, projektowania parametrycznego, prototypowania i teorii urbanistyki.

Terreform ONE skupiająca projektantów i badaczy z całego świata, podzielona została wewnętrznie na pięć działów:

- Terreform ONE – Architectural and Urban Research Hub (grupę badawczą)
- Terreform ONE Lab – School for Design and Science (szkołę)
- Terreform ONE Prize – Annual Juried Competition (nagrodę)
- Terreform ONE Global – International Fellowship Program (org. partnerstwa)
- Terreform ONE Event – Host for City Experience Venues (org. eventową)

Podstawowe projekty urbanistyczne realizowane przez Terreform ONE to m.in.:

⁴⁸ <http://www.terreform.org/about.html>

- **Urbaneering Brooklyn** – projekt rozwoju urbanistycznego Brooklynu (NYC) w roku 2110 zakładający zrównoważony rozwój związany ze wzrostem populacji Nowego Jorku. Jak twierdzą autorzy, w zaprojektowanym układzie *jedzenie, woda, powietrze, energia, odpady, mobilność i schronienie są radykalnie przebudowane aby wspierać życie w każdej formie*⁴⁹.
- **Homeway: The Great Suburban Exodus** – analiza i koncepcja urbanistyczna stanowiąca komentarz w kwestii postępującego rozwoju przedmieść (tzw. „rozlewania się miast”), którego skutkiem jest konieczność zapewnienia sieci transportowych generujących szkodliwe dla środowiska naturalnego czynniki. Zgodnie z koncepcją autorów, przedmieścia stają się ruchomymi „organizmami” przy zachowaniu swojego aktualnego kształtu. Mogą być w całości przyłączane i odłączane od struktury miasta.
- **Fab Tree Hab** – Koncepcja budowy budynku mieszkalnego w całości wykonanego z naturalnych materiałów oraz w znakomitej większości kształtowanego addytywnie podczas naturalnego procesu wzrostu. *Nasze mieszkanie składa się w 100% z żywych składników. Tutaj tradycyjne doktryny antropocentryczne są przewrócone i ludzkie życie połączone zostaje z naturalnym, ziemskim krajobrazem. Dom, w tym sensie, staje się niewyraźny i pasuje symbiotycznie do otaczającego go ekosystemu. Ta koncepcja domu ma na celu zastąpić przestarzałe rozwiązania projektowe w Habitat for Humanity. Proponujemy metodę hodowli domów z ojczywego drzewa. Żywa struktura w budowywana jest w prefabrykowany za pomocą projektowania parametrycznego i CNC kształt rusztowania wielokrotnego użytku. Umożliwiamy mieszkania w pełni zintegrowane z lokalnym ekosystemem.*⁵⁰. Projekt zakłada budowę obiektu w 100% z naturalnych składników, który przyczynia się do zachowania naturalnego ekosystemu, minimalizuje negatywny wpływ człowieka na środowisko oraz angażuje hodowlę i produkcję drzewną.



fol. 19: Fab Tree Hab autorstwa Terreform ONE.

- **Rapid Re(f)use** – zwracając uwagę na fakt, iż Nowy Jork produkuje 38.000 ton odpadów dziennie, Terreform ONE proponuje wykorzystanie w/w odpadów jako budulca. W roku 2120 – zgodnie z danymi przedstawionymi przez organizację - odpady te pozwolą zbudować 7 wysp wielkości Manhattanu.
- **SOFT Lamb Car** – projekt samochodu, do produkcji którego użyty został system pneumatycznych poduszek wyprodukowanych z biopolimerów na bazie soi.

⁴⁹ http://www.terreform.org/projects_urbanity_brooklyn.html

⁵⁰ http://www.terreform.org/projects_habitat_fab.html

- **Green Brain:** Smart Park for a New City – projekt nowego miejskiego parku w Korei Południowej.



fol. 20: Green Brain autorstwa Terreform ONE.

- **New York 2106: Self-Sufficient City** – projekt urbanistyczny przebudowy Nowego Jorku w taki sposób, aby w 2106r. stał się on w pełni samowystarczalnym pod względem produkcji energii i żywności miastem. Projekt zakłada maksymalizację terenów zielonych związanych również z rolnictwem miejskim oraz wprowadzenie na szeroką skalę odnawialnych źródeł energii.
- **Jetpack Packing and Blimp Bumper Bus** – projekt jest jednocześnie komentarzem w stosunku do „zawłaszczenia” przestrzeni miejskiej przez ruch samochodowy oraz propozycją systemu transportu publicznego odbywającego się na poziomie +1 (ponad poziomem ruchu pieszego). Jednocześnie, wprowadzony zostaje omówiony powyżej SOFT Lamb Car, którego budowa powoduje maksymalizację użycia materiałów ekologicznych i z uwagi na rezygnację z użycia blach stalowych jako karoserii - zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w przypadku interakcji z innym pojazdem bądź pieszym.
- **In Vitro Meat Habitat** – przy użyciu biologii syntetycznej oraz produkcji addytywnej (tu: drukowania 3d) Terreform ONE opracowało strukturę, której wzrost odbywa się in vitro (pozaustrojowo), a która jest pochodną mięsa mogącego służyć do budowy obiektów architektonicznych. Prototyp opracowano w skali 11 x 3 x 7 cali (27.94 x 7.62 x 17.78 cm).
- **Building Integrated Agriculture** – analiza opłacalności propagacji miejskiego rolnictwa w Nowym Jorku, która zobrazowana została na załączonej fot. 21.

Poza projektami opisanymi powyżej, Terreform ONE prowadzi m.in. badania nad stworzeniem miejskiego środka komunikacji zbudowanego zgodnie z ideą *cradle to cradle*, o niskiej masie własnej, zasilanego energią elektryczną pozyskiwaną ze źródeł odnawialnych, mogącego łączyć się w systemy poruszania.

Jednocześnie, prowadzone są badania dotyczące wprowadzenia nowej profesji – *Urbaneeringu*. Nazwa ta powstała prawdopodobnie z połączenia słów *urban* – miejski i *pioneer* – pionier. Pierwsi „pionierzy miasta” są aktualnie kształceni w programie prowadzonym przez TerreformONE. Zadaniem tych interdyscyplinarnie wykształconych projektantów jest

reagowanie na permanentnie zmieniające się potrzeby urbanizacji oraz propagowanie podczas planowania przestrzennego idei zrównoważonego rozwoju. Osoby te miałyby z założenia być „advokatami miasta”, którzy reagowaliby jednocześnie na zapotrzebowanie deweloperów, możliwości planistyczne i infrastrukturalne, koncepcje i plany architektoniczne przy jednoczesnym uwzględnieniu faktu istnienia sąsiedztwa i przestrzeni publicznych w aspekcie socjologicznym.

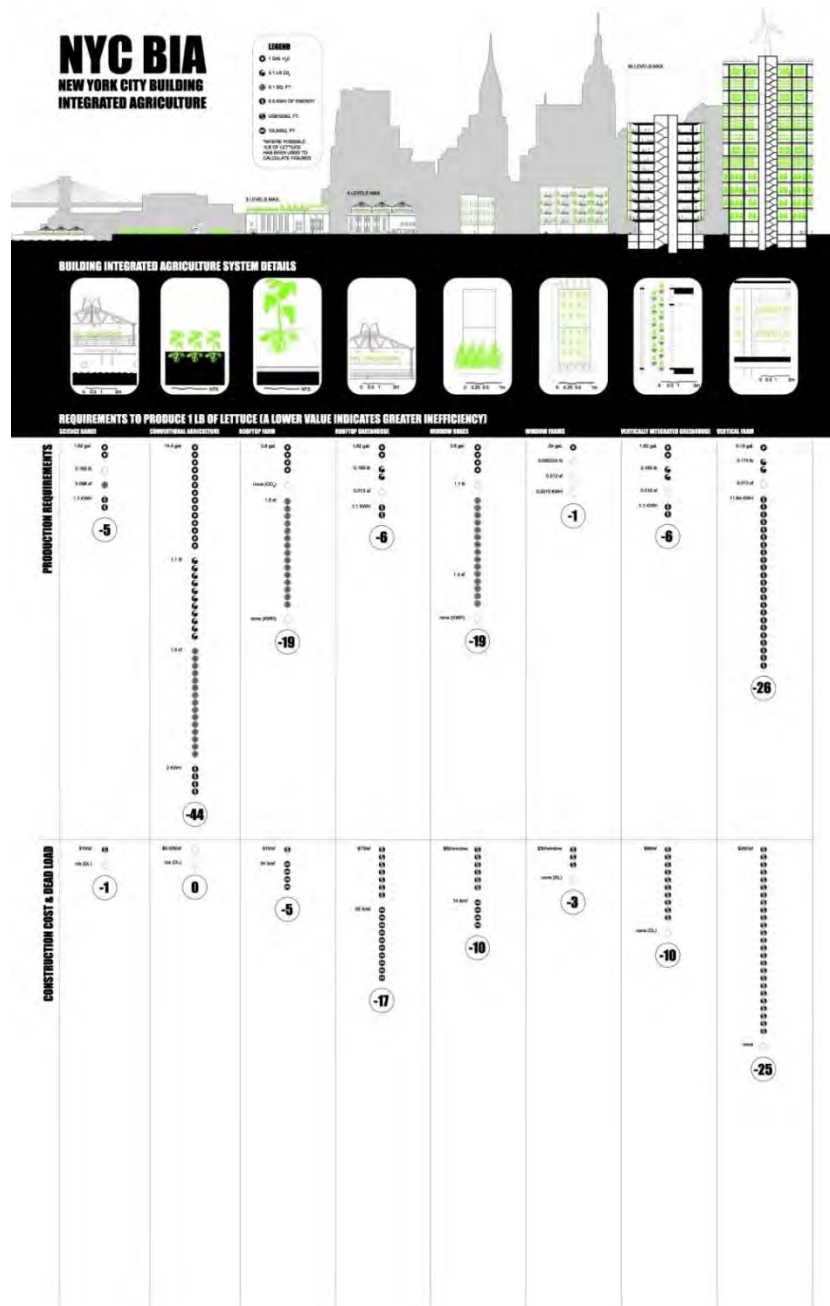


foto. 21: Building Integrated Agriculture autorstwa Terreform ONE.

Terreform ONE zainicjowała powstanie fundacji International Genetically Engineered Machine (iGEM) poświęconej edukacji i rozwojowi biologii syntetycznej oraz rozwojowi otwartej społeczności i współpracy. Pod egidą tej fundacji działa laboratorium Genspace, które za pomocą zastosowania biologii syntetycznej, projektowania parametrycznego oraz drukowania

3d prowadzi badania nad wprowadzeniem samoreplikujących się, biodegradowanych materiałów mogących w przyszłości posłużyć jako materiał budowlany. Podobne badania prowadzą wspomniani w niniejszej dysertacji: Neri Oxman (MIT), Denis Dollens oraz Petra Gruber [11]. Jednym z projektów prowadzonych przez Genspace jest Gen2Seat zbudowany z modułów tzw. *Mycoform Module*. *Mycoform Module* to wiele zakrzywionych, wzrastających naturalnie grzybni. System ten jest żywy, segmentowy i może być aplikowany zdaniem twórców jako komponent mebli, ścian oporowych lub systemów izolacyjnych. Równolegle, przeprowadzono badania wraz z prototypowaniem pierwszego siedziska powstałego w wyniku naturalnego wzrostu. Zastosowano w tym przypadku celulozę bakteryjną o nazwie *Acetobacter*. Jak zauważono, *Acetobacter* naturalnie wytwarza maty celulozowe, które można wykorzystać do różnych celów. Chcąc stworzyć szersze spektrum materiałów, projektanci zmienili właściwości maty celulozowej łącząc ją jednocześnie z naturalnie występującą w środowisku chityną. Wynikiem jest kopolimer chityna-celuloza, który może mieć wyjątkowe właściwości autopojetyczne (tu: samoreplikowane) . Posiada on zdaniem badaczy duży potencjał do zastosowania w nowoczesnym projektowaniu architektonicznym analogicznie do *Mycoform Module*. Planowane jest w kolejnych etapach badań wprowadzenie do celulozy innych właściwości, takich jak kolor, zapach itp. [s9]. Pozostałymi projektami badawczymi organizowanymi przez Genspace jest m.in. *Biocrete* – organiczny beton, paliwo organiczne na bazie alg (*Microalgae bio diesel*) lub też programowalna biologicznie farba mogąca zmieniać swój kolor w zależności od ilości światła lub wilgotności powietrza [s10].

3.1.2. Vincent Callebaut – implementacja biomimetyki w wielofunkcyjnych strukturach.

Urodzony w 1977r. belgijski architekt Vincent Callebaut jest projektantem specjalizującym się w zarówno wirtualnych, jak i realizacyjnych budynkach z kręgu architektury środowiska zrównoważonego. Jego polem zainteresowania są obiekty związane z odnawialnymi źródłami energii, bioróżnorodnością i agrokulturą miejską. W swoich projektach wykorzystuje zarówno biomimetykę, szeroko pojętą wiedzę z zakresu ochrony środowiska, architekturę parametryczną oraz produkcję addytywną (tu: druk 3d). Praktycznie każdy z jego projektów zakłada maksymalizację środków na rzecz ekologii zarówno związanej z komponentami budynku, jego zaopatrzeniem energetycznym, sposobem lub sposobami jego użytkowania oraz jego dekonstrukcją zgodnie z ideą cradle to cradle. Pomimo faktu, iż projekty Vincenta Callebaut, w kwestii ich realizacji, są w znakomitej większości wysokobudżetowymi, jego działalność architektoniczna w sensie idei projektowania proekologicznego jest znamienna. Praktycznie każdy z ok. 50 dostępnych w dokumentacji elektronicznej [s11] projektów mógłby być powodem odrębnej analizy i opracowania. Poniżej zaprezentowano wybrane trzy projekty z ostatnich lat, z których jeden (Tao Zhu Yin Yuan) jest aktualnie na etapie realizacji. Celem poniższej prezentacji jest zobrazowanie globalnego, wielopostaciowego wykorzystania biomimetyki w projektowaniu architektonicznym. Opisy projektów architektonicznych zaczerpnięto z autorskich opisów Vincenta Callebaut wskazanych w źródłach, które zostały przetłumaczone i opracowane przez autora niniejszej dysertacji.

Tao Zhu Yin Yuan: A Carbon-Absorbing Green Tower / Taipei, Taiwan, 2010-2019r.

Wieża Zhu Yin Yuan jest prototypem "zielonego budynku", pochłaniającego dwutlenek węgla. Mieści ona 23 000 drzew i krzewów posadzonych na tarasach i balkonach, które to mogą pochłaniać ok. 130 ton CO² rocznie. Inspiracją kształtu wieży jest struktura podwójnej helisy DNA. Została zbudowana - jak twierdzi autor projektu - zgodnie z filozofią Taiji. Ideą Vincenta Callebaut, którą obserwować można w wielu jego realizacjach jest *Przekształcać miasto w ekosystem, dzielnice w lasy, a wieże w miejskie drzewa!*⁵¹

⁵¹ http://vincent.callebaut.org/object/190320_taozhuyinyuansite/taozhuyinyuansite/projects/user



fot. 22: Tao Zhu Yin Yuan: A Carbon-Absorbing Green Tower

Wieża przedstawia pionierską koncepcję zrównoważonej ekologicznej zabudowy mieszkaniowej, której celem jest ograniczenie śladu ekologicznego poprzez stworzenie właściwej symbiozy między człowiekiem a naturą. Wieża zaprojektowana jest z myślą o ekologii i stanowi idealne połączenie klimatu, krajobrazu i architektury. Analiza nasłonecznienia, temperatury i wiatru pozwoliła ulepszyć aspekt bioklimatyczny projektu. W pierwszym, koncepcyjnym etapie projektowania, zamiarem projektantów było zaprojektowanie "pionowego krajobrazu" poprzez wszystkie zamieszkałe poziomy. [...] Obszar objęty roślinami wynosi 6 060m² co odpowiada miejskiemu parkowi leśnemu. Łącznie 23 000 drzew i krzewów połączono z obszarami trawiastymi, leśnymi i terenami rekreacyjnymi. Naturalny wodospad jest podłączony do basenu z ciepłą wodą w piwnicy.

Podczas gdy głównym powodem architektury jest od niepamiętnych czasów ochrona Człowieka przed Naturą, współczesne miasto pragnie - dzięki nowym metodom - pojednania w końcu istoty ludzkiej i naturalnych ekosystemów. Architektura staje się metaboliczna i twórcza. Fasady stają się inteligentnym, regenerującym i organicznym naskórkiem. Są to elementy w ruchu, które poprzez zastosowane rośliny zawsze dostosowują kształt do funkcjonalności. Dachy stają się nowym terenem zielonego miasta. Ogród nie znajduje się już obok budynku - to jest budynek! Architektura staje się kultywowana, jadalna i odżywcza. Architektura nie jest już ustawiona w ziemi, ale zostaje zasadzona w ziemi i wymienia z nią substancje organiczne zmienione w zasobach naturalnych.⁵²

Budynek posiada biomorficzną, spiralną formę. Przy projektowaniu jego konstrukcji zastosowano optymalizację zgodną z przebiegiem strumienia sił. System wentylacji budynku, oparty o jego trzon konstrukcyjny, jest pochodną systemu wentylacji termityery, co zostało zastosowane już m.in. w Harare w Zimbabwie⁵³. W ramach tego projektu zrealizowana została koncepcja oszczędzania energii, redukcji emisji dwutlenku węgla i budowy przestrzeni przyjaznych dla środowiska. Autorzy projektu architektonicznego obiektu na etapie formułowania koncepcji postawili sobie dziewięć celów, które ich zdaniem udało się osiągnąć:

- zwiększenie produkcji tlenu, zwiększenie absorpcji CO₂, oczyszczanie powietrza, osiągnięcie homeostazy dla efektów ocieplania się klimatu w mieście zrealizowane poprzez nasadzenia zieleni,

⁵² http://vincent.callebaut.org/object/190320_taozhuyinyuansite/taozhuyinyuansite/projects/user

⁵³ Projekt Micka Pearce'a: Eastgate Centre w Harare, Zimbabwie, w którym po raz pierwszy zastosowano w makro skali system naturalnej wentylacji grawitacyjnej wzorowany na strukturze termityery.

- magazynowanie wody deszczowej celem zmniejszenia zapotrzebowania na drenaż i jej odprowadzenie oraz wspieranie mikroorganizmów,
- zmniejszenie ilość energii potrzebnej do klimatyzacji i oświetlenia poprzez maksymalizację wykorzystania światła dziennego,
- redukcja dwutlenku węgla: wykorzystanie zawansowanych procesów projektowania i budowy oraz optymalizacja konstrukcji celem stworzenia możliwości ponownego wykorzystania materiałów budowlanych oraz zmniejszenia emisji CO₂ w procesach ich wytwarzania,
- prefabrykacja elementów celem zmniejszenia ilości odpadów w trakcie budowy,
- zastosowanie wysokoefektywnych systemów nawadniania, cyrkulacji, magazynowania deszczówki i "szarej wody",
- utylizacja ścieków i śmieci poprzez kompostowanie oraz system certyfikacji wszystkich odpadów nie biodegradowalnych tak, aby ich ponowne przetworzenie było jak najłatwiejsze,
- ochrona bioróżnorodności poprzez zastosowanie rodzimych roślin o dużej bioróżnorodności tak, aby obiekt działał jak zamknięty ekosystem bez konieczności nawożenia,
- układ funkcjonalny budynku zoptymalizowano pod kątem czynników zewnętrznych takich jak nasłonecznienie lub przewietrzanie.

Projekt jest ekologiczny dzięki integracji bioklimatycznych systemów pasywnych (naturalnego oświetlenia, wentylacji rdzenia i piwnicy, magazynowania deszczowej i szarej wody, niskoemisyjnego szkła, komina powietrznego w podwójnej ścianie osłonowej dla naturalnej wentylacji), ale także przez odnawialne źródła energii (takie jak fotowoltaiczny dach słoneczny, automatyka do oszczędzania energii i windy wykorzystujące energooszczędne napędy regeneracyjne, zielone ściany, balkony krajobrazowe, systemy sterowania HVAC, systemy komunikacyjne i inteligentny interfejs dla użytkowników budynku). CO² został zredukowany dzięki zastosowaniu wysokowydajnej stali (wytwarzanej w Japonii) w celu uzyskania struktury antysejsmicznej i zastosowaniu materiałów C2C (cradle to cradle – aut.) dla wewnętrznych aranżacji architektonicznych. Zielona certyfikacja tego projektu to: 1 (U.S. Green Building Council) i Gold 2 (LEED).⁵⁴

Soprema Headquarters: Green Flex Office For Nomad Co-Workers
Strasbourg, Francja, 2018r.

Projekt ten jest ekologicznym prototypem zielonego miasta przyszłości. Miasta, które chce być stopniowo post-węglowym, post-naftowym, post-nuklearnym, a nawet post-owadobójczym. Krótko mówiąc, prężne miasto wplata zrównoważoną symbiozę między oddziaływanie człowieka na środowisko, a walkę z hydroizolacją (utwardzeniem - aut.) gleby. Aby zbudować to ekologiczne miasto jutra, grupa SOPREMA postawiła sobie wyzwanie: zmniejszyć o 65% zależność hydroizolacji od produktów ropopochodnych, przechodząc na gospodarkę obiegową (cradle to cradle - aut.) i materiały biologiczne. Aby zrealizować to wyzwanie, budynek jest prawdziwym bohaterem mini-klimatu, zielonym i inteligentnym, zrównoważonym i zen, odzwierciedlającym wolę współpracowników, pracowników biurowych i pracowników firmy, aby budować lepszą przyszłość dla przyszłych pokoleń.⁵⁵

⁵⁴ http://vincent.callebaut.org/object/190320_taozhuyinyuansite/taozhuyinyuansite/projects/user

⁵⁵ http://vincent.callebaut.org/object/181214_soprema/soprema/projects/user



foto. 23: Soprema Headquarters: Green Flex Office For Nomad Co-Workers

Inspirowany bio-polem ryżowym budynek jest budynkiem demonstracyjnym. Otwiera pole możliwości dla budynków bez produktów ropopochodnych. Do ekologicznej izolacji termicznej i akustycznej zostanie wprowadzony produkt SOPREMY składający się z waty celulozowej i makulatury [...].⁵⁶

Koncepcja architektoniczna oparta została o wykorzystanie "piątej elewacji" - dachu budynku. Inspiracją kształtu obiektu były pola ryżowe co zaowocowało skierowanymi na południe, kaskadowo opadającymi, zielonymi tarasami widocznymi na wizualizacjach. Zaprojektowano również sieć oczek wodnych utrzymujących odpowiednią wilgotność powietrza i połączonych ze sobą kaskadowo.

Między miejskimi ogrodami warzywnymi, szklarniami ogrodowymi i bujnymi sadami, wszystkie sadzenia zaproponowane przez pracowników firmy są widoczne u ich stóp, aby udowodnić odwiedzającym, że miasto przyszłości będzie zdecydowanie zielone i ekologiczne. Semaphore (Soprema Headquarters - aut.) jest budynkiem z 10 000 roślin, krzewów i drzew. Jest w stanie wchłonąć do 65 ton CO² z atmosfery okolic Port du Rhin rocznie, podczas jednoczesnej produkcji tlenu.⁵⁷

Celem spełnienia założonych wymagań gospodarki energetycznej budynku wdrożono zestaw wysokowydajnych systemów pozyskiwania energii odnawialnej oraz gospodarki materiałowej zarówno na etapie projektowania jaki i w cyklu życia (ang.: *life cycle*) budynku:

- zoptymalizowano wydajność i ilość izolacji termicznej przy udziale technologii Soprema,
- zastosowano geotermiczne sondy celem zapewnienia optymalnych warunków dostarczenia ciepła i chłodzenia budynku,
- zastosowano kominy wiatrowe stanowiące źródło naturalnej, pasywnej wentylacji przy udziale energii geotermalnej,

⁵⁶ http://vincent.callebaut.org/object/181214_soprema/soprema/projects/user

⁵⁷ Ibidem

- zaprojektowano system odzyskiwania wody deszczowej i recykling ścieków poprzez fito-oczyszczalnię i tzw. *laguny infiltracyjne*,
- zaprojektowano dach fotowoltaiczny do wytwarzania energii elektrycznej oraz energii niezbędnej do podgrzania ciepłej wody użytkowej,
- zaprojektowano system Dual-Sun® - wertykalną farmę wiatrową zawieszoną magnetycznie - 20 osiowych turbin wiatrowych - uwzględniającą konieczność zapewnienia komfortu akustycznego użytkowników,
- zaprojektowano mini-biomasownię, która przetwarza nie jadalne odpady organiczne z roślin w celu przekształcenia ich w energię (ciepło),
- zgodnie z założonym postulatem architektury neutralnej pod względem emisji CO², konstrukcja obiektu została zaprojektowana zgodnie z zasadami cradle to cradle biorąc pod uwagę zarówno etap powstawania budynku, jego eksploatację oraz dekonstrukcję; zaproponowano zastosowanie betonu pęcherzykowego lub krzyżowo laminowanego drewna,
- celem aktywizacji użytkowników i gości budynku zaproponowano dużą dywersyfikację nasadzeń z użyciem również warzyw i lokalnych drzew owocowych, których produkty mogą być wykorzystywane w lokalnej restauracji:

W ogrodach wokół budynku, na parkingu, w patio Agory i na dachu rodzime drzewa owocowe będą sadzone w celu promowania rozwoju małej przyrody w obszarach miejsko-przemysłowych (czarne czereśnie morwy, jarzębiny) oprócz uprawianych drzew owocowych (jabłka, gruszki), reprezentujących lokalny know-how. Na falujących balkonach, fale będą uzupełniane małymi drzewami owocowymi, takimi jak czerwone porzeczki, czarne porzeczki, maliny, truskawki, jeżyny lub jagody. Warzywa jak cukinia, pomidory, rzodkiewki i marchew, a także szereg ziół sadzone będą na kopcach kompostu. Na dachach, szklarnie będą zaprojektowane jako prawdziwe centrum zasobów dla pracowników przekształconych w aktorów miejskiego rolnictwa, chętnych do nauki do sadzenia nasion i rzadkich roślin oraz do spotkania z animatorami.⁵⁸

The 5 Farming Bridges: Rebuilding 55 000 Plus-Energy “3D Printed” Housing Units Fighting Poverty and Feeding the Post-ISIS Mosul, Mosul, Iraq, 2017r.

Projektując ideową koncepcję 5 Farming Bridges, Vincent Callebaut wraz z zespołem postawił sobie jeden podstawowy cel: Miasto do up-cycklingu. Zaproponowano tym samym pięć "mostów domowych" o powtarzalnej architekturze, które w swoim założeniu zostaną literalnie wydrukowane z gruzów zniszczonego miasta.

5 mostów w Mosulu łączących zachodnie i wschodnie dzielnice wzdłuż rzeki Tygrys zostało zniszczonych w wyniku działań wojennych. Koncepcja polega na odbudowaniu ich jako mostów mieszkalnych poprzez budowę nowego miasta ponad starym. Jest to kwestia recyklingu miasta z jego serca, a nie próba rozbudowywania go w rejonie peryferiów. Te zamieszkałe mosty będą drukowane w 3D za pomocą gruzu z ruin wojennych aby zaradzić niedoborowi tanich mieszkań, szacowanemu aktualnie na ponad 53 000.⁵⁹

⁵⁸ http://vincent.callebaut.org/object/181214_soprema/soprema/projects/user

⁵⁹ http://vincent.callebaut.org/object/171023_mosul/mosul/projects/user

Zostaną one pokryte miejskimi gospodarstwami rolnymi i polami uprawnymi przeznaczonymi do permakultury w celu zagwarantowania autonomii żywności mieszkańcom i zapewnienia bezwładności cieplnej dla środowiska zbudowanego. Miejskie gospodarstwa i sady będą nawadniane przez wodę z Tygrysu, pobieraną za pomocą śrub Archimedesesa. Szara woda z łazienek i kuchni zostanie poddana recyklingowi i przefiltrowana przez rośliny w wodospadach i laguny połączone z rzeką. Kompostowniki biomasy będą zapewniać optymalne podłoże dla sadów i ogrodów warzywnych.

Mosty będą również zawierać kominy wiatrowe dla chłodnego, naturalnego powietrza, zimne sufity wykorzystujące energię cieplną rzeki, słoneczne podgrzewacze wody dla ciepłej wody użytkowej i setki pergoli fotowoltaicznych wytwarzających niezbędne kilowaty energii elektrycznej.



fot. 24: The 5 Farming Bridges

Każdy most będzie przypominał sztuczną górę wygenerowaną przez powtórzenie w przestrzeni jednego podstawowego modułu o powierzchni 12,96m²: sześciangu o module 3.6m, tworzący sklepienie krawędziowe, wykorzystujący skrzyżowanie dwóch kołysek, które przecinają się pod kątem prostym (analogia do ceglanego sklepienia kolebkowego - aut.).

Zainspirowany muqarnas - słynnym, ozdobnym wzorem plastra miodu, stosowanym w architekturze islamskiej od czasów średniowiecza - układanie tych typowych domów w przestrzeni tworzy strukturę zrębową składającą się z tysięcy stalaktytów, które redukcją obciążenia strukturalne w kierunku podpór. Typowe domy będą składały się z 2, 5 lub 10 modułów, tworząc odpowiednio mieszkania o powierzchni 25, 65 i 120m². System konstrukcyjny będzie zatem odpowiadał różnym wymaganiom dotyczącym zdolności do zamieszkania, stosownie do wielkości rodziny irackiej, która ma być tamże zakwaterowana. Ułożone w duże grupy, typowe domy tworzą kwartały z fasadami w kolorze ochry, a przez lata stworzą gęstą, zieloną i zrównoważoną wioskę nad Tygrysem. Fasady przypominają zigguraty z ich kolejno nałożonymi tarasami, oddalonymi względem siebie. Pięć drukarek 3D w postaci przegubowych pająków pozwoli na budowę 30 domów dziennie lub prawie 55 000 mieszkań w ciągu pięciu lat rozłożonych na pięciu mostach. Wszystkie grzyby zostaną przekształcone w zasoby. Aby zasilić te trójwymiarowe drukarki pajęcze, drony będą stale dostarczać im materiały budowlane pochodzące z dzielnic w ruinach (wcześniej rozdrobnione i przetworzone w centrach recyklingu). Wyposażone w precyzyjne ramię robota przemysłowego, pająki

drukować będą moduły obudowy, kierując dyszą budowlaną, taką jak dysze używane do wylewania betonu i materiałów izolacyjnych lub te z głowicą frezującą.⁶⁰

3.1.3. Aspekty zastosowalności biomimetyki wg Michaela Pawlyna.

Michael Pawlyn (ur. 3.09.1967r.) jest brytyjskim architektem specjalizującym się w zagadnieniach dotyczących biomimetyki i architektury środowiska zrównoważonego. Jest też autorem jednego z niewielu komplementarnych źródeł wiedzy na temat projektowania inspirowanego naturą - biomimetyki - książki: *Biomimicry in Architecture*, która doczekała się dwóch edycji (w 2011 i 2016r.) oraz współautorem przełomowego projektu z dziedziny biomimetyki - *Eden Project*. Zdaniem Pawlyna, naśladowanie procesów zachodzących naturalnie pozwala na ograniczenia tak znaczącego dziś zużycia surowców (tu: wtórnych, nieodnawialnych) i energii. Naczelną zasadą projektowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju są, jak sądzi: zwiększenie wydajności dostępnych źródeł energii, przejście z liniowego na zamknięty obieg zużywania surowców⁶¹ oraz przejście z gospodarki opartej na paliwach nieodnawialnych do gospodarki opartej na energii słonecznej. *W bionice, jeśli w pełni nie wykorzystujesz jakiegoś surowca, nie możesz myśleć w jaki sposób się go pozbyć. Należy myśleć co można dodać do systemu, aby mieć jeszcze większe korzyści*⁶² - zauważa Pawlyn.

We wstępie do *Biomimicry in Architecture* [8], Michael Pawlyn przytacza wspomniane w niniejszej pracy definicje biomimetyki autorstwa profesora Juliana Vincenta oraz profesor Janinie Benyus opracowując jednocześnie swoją definicję: *mimicking the functional basis of biological basis of biological forms, processes and systems to produce sustainable solutions*⁶³ czyli naśladowanie funkcjonalnych podstaw biologicznych dla form, procesów i systemów celem wykształcenia zrównoważonych rozwiązań. Pawlyn zauważa różnicę pomiędzy biomimetyką jako projektowaniem inspirowanym naturą w aspekcie głównie funkcjonalnym i konstrukcyjnym, a biomorfizmem, który skupia się głównie na aspektach formalnych projektowania. Nie wyklucza jednak biomorfizmu jako elementu zbędnego zauważając, że projektowanie biomimetyczne może dostarczać ważnych innowacji, dla których biomorfizm może przynieść znaczenie. Odnosi się to bezpośrednio do projektowania architektonicznego, które wg Witruwiusza zwiera aspekt *venustas* (piękna), które z kolei ma znaczenie przy odbiorze bezpośrednim dzieła architektonicznego. Mottem książki Michaela Pawlyna jest cytata z wypowiedzi Buckminstera Fullera: *sprawić, by świat działał w stu procentach dla ludzkości, w najkrótszym możliwym czasie, poprzez spontaniczną współpracę, bez szkody dla ekologii lub kogokolwiek*.⁶⁴ Podkreślając znaczenie biomimetyki w projektowaniu (również architektonicznym) i inżynierii, Pawlyn przytacza dane statystyczne, zgodnie z którymi w latach 90-tych powstawało ok. 100 artykułów naukowych rocznie na jej temat, gdzie w pierwszej dekadzie XXI wieku liczba ta wzrosła znacząco do kilku tysięcy artykułów (rocznie).

Struktura *Biomimicry in Architecture* została opracowana tak, aby w każdym z rozdziałów szukać odpowiedzi na zadane w ich tytułach pytania. W rozdziale zatytułowanym *Jak możemy budować bardziej wydajne struktury?* (ang.: *How can we build more efficient structures?*), analogicznie do schematu zastosowanego przez Lebediewa, przywołane zostają kolejne możliwe i zastosowane "biomimetyczne inspiracje", zgodnie z przywołanym cytatem profesora

⁶⁰ http://vincent.callebaut.org/object/171023_mosul/mosul/projects/user

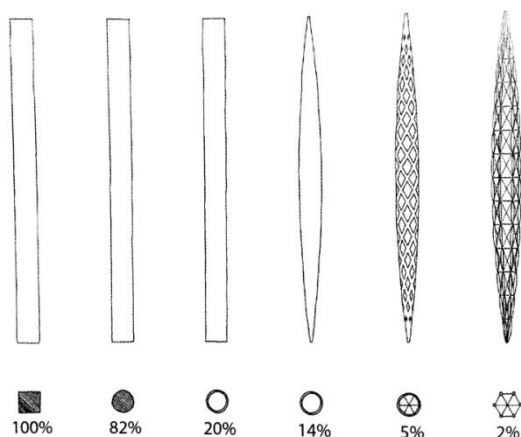
⁶¹ Zgodnie z opisanymi zasadami cradle to cradle.

⁶² https://www.ted.com/talks/michael_pawlyn_using_nature_s_genius_in_architecture

⁶³ Michael Pawlyn: *Biomimicry in Architecture*; RIBA Publishing, London, 2016r.

⁶⁴ Org.: *To make the world work for a hundred percent of humanity, in the shortest possible time, through spontaneous cooperation, without ecological offense or the disadvantage of anyone.*

Juliana Vincenta: *in nature, materials are expensive and shape is cheap.*⁶⁵ W inżynierii natomiast (jak zauważono) - kształt jest w istocie drogi, co skłania do stosowania biomimetycznej efektywności form o dużej wydajności konstrukcyjnej zgodnie z ideą: mniej materiału - więcej projektowania.



fot.25: Adriaan Beukers and Ed van Hinte: Lightness: The Inevitable Renaissance of Minimum Energy Structures)

Doskonałym do zaprezentowania "ewolucyjnej efektywności" i przywołanym w niniejszym rozdziale przykładem jest bambus, który zasadniczo jest rodzajem trawy, ale dzięki swojemu kolistemu przekrojowi oraz węzłom zapobiegającym wyboczeniom może osiągać wysokość nawet do 40m. Zastosowany jest tutaj tzw. aksjomat jednolitego naprężenia występujący szeroko w świecie natury, gdzie większa ilość materiału konstrukcyjnego użyta zostaje w miejscach, gdzie występuje zwiększone obciążenie. Analogicznie - mniej materiału występuje w strefach, gdzie obciążenie to jest mniejsze. Pawlyn przytacza tutaj kilka przykładów takich jak Palazzetto Dello Sport oraz Catti Wool Factory autorstwa P.L. Nerviego, gdzie w zastosowaniu żebrowej konstrukcji żelbetowego przekrycia o zmiennym przekroju elementów związanym z przebiegiem strumienia sił można zauważyć analogię choćby do żeber w konstrukcji liści. Przywołane zostają również "szkieletowe" konstrukcje Santiago Calatravy oraz notabene przekrój kości udowej człowieka obrazujący linie przebiegu naprężeń w związku z przenoszeniem obciążeń o różnym kierunku. Zauważalne jest tutaj pokrewieństwo z badaną przez prof. Wacława Zalewskiego zasadą przebiegu sił (ang.: *stream of forces*) celem optymalizacji projektowanych przez niego rozwiązań konstrukcyjnych. We wspomnianej analogii do *Architektury i bioniki* J.S. Lebediewa⁶⁶ Pawlyn przytacza przykłady kolejnych konstrukcji żebrowych, powłok, sieci (tu: konstrukcji ciągnowych) oraz pneumatycznych. Szczególnie interesujące są jednak trzy opisywane przypadki biomimetycznych struktur.

Pawlyn przywołując przykład sklepienia Gustavino⁶⁷ zauważa analogię jego wytrzymałości w stosunku do zaobserwowanego w mikroskopowym powiększeniu przekroju muszli. Muszle, zbudowane są z kolejnych warstw węglanu wapnia (CaCO_3) - warstwa wewnętrzna i środkowa oraz z chityny - warstwa zewnętrzna. W mikroskopowym powiększeniu ściany muszli uwidocznione są kolejne warstwy. Ilość warstw (ich przyrost w czasie) w oczywisty sposób wpływa na wytrzymałość struktury. Analogicznie, sklepienie zaprojektowane przez braci Gustavino jest doskonałym przykładem cienkich warstw płytek ceramicznych układanych w zaprojektowanym porządku. Zastanawiające jest, czy inspiracją braci Gustavino do

⁶⁵ Tłum.: *W naturze, materiały są drogie, a kształt jest tani.*

⁶⁶ Opisanej w pkt. 2.3 niniejszej dysertacji.

⁶⁷ Gustavino Vaulting jest przedmiotem badań m.in. prof. Johna Ochsendorfa (MIT).

zaprojektowania przełomowego sposobu budowy sklepień ceramicznych był rzeczony przekrój muszli, gdyż zbieżność działania obu konstrukcji jest ewidentna.



fot. 26: Cienkościenne sklepienie inspirowane sklepieniem Gustavino.
prof. dr Phillippe Block, dr Matthias Rippmann, David Lopez Lopez / ETH Zurich

Drugim z przykładów, który został już w niniejszej dysertacji przywołany, jest *Eden Project*, którego współautorem był Michael Pawlyn, a który wykorzystuje często występującą w przyrodzie - wśród wszystkich organizmów komórkowych - pneumatykę. Abstrahując od analogii pomiędzy strukturą radiolariów⁶⁸ czy też cząsteczką węgla nazywaną fulleryną⁶⁹ a konstrukcją kopuł Eden Project oraz zastosowaniu utrzymujących ciśnienie wewnętrzne "komórek" z ETFE⁷⁰ jako pokrycia, kluczowa w tym przypadku jest racjonalność rozwiązania w związku z wykorzystaniem zasobów. Synergia zastosowanych środków jest kluczowa dla osiągnięcia w pełni biomimetycznego efektu. W tym przypadku, zastosowanie "komórek" z ETFE - abstrahując bioniczności ich formy - ważących ok. 1% wagi możliwego do zastosowania szkła spowodowała możliwość zmniejszenia przekroju profili stalowych konstrukcji kopuły. W efekcie masa przekrycia jest niższa, niż masa powietrza znajdującego się w jej wnętrzu.

Trzecie, nie mniej istotne zjawisko zaobserwowane przez Pawlyna to wykorzystana między innymi przez University College London do budowy "adaptacyjnej kratownicy" zdolność naturalnie występujących struktur do zmiany formy lub zachowania w odpowiedzi na zmieniające się warunki zewnętrzne. Dzięki zastosowaniu siłowników, ilość materiału użyta do budowy prętów ściskanych i rozciąganych kratownicy została obniżona o ok. 80%. *W naturze - jak twierdzi - siła ewoluowała nie po to, by budować sztywne struktury, lecz aby być przychylną ruchowi*⁷¹.

Podsumowując rozdział dotyczący wydajności biomimetycznych struktur - wytyczne określić można następująco:

⁶⁸ Promienic.

⁶⁹ Nazwa nadana cząsteczce węgla C60 na cześć autora m.in. kopuł geodezyjnych - Buckminstera Fullera (1895-1983).

⁷⁰ Ethylene tetrafluoroethylene - polimer na bazie plastiku i fluoru.

⁷¹ Michael Pawlyn: *Biomimicry in Architecture*, RIBA Publishing, 2016r.

- więcej "kształtu" (tu: projektowania), a mniej materiału powoduje, iż projektowane rozwiązanie staje się bardziej responsywne na zapotrzebowanie,
- należy zredukować "przesztynianie" konstrukcji rzecz "giętkich" struktur celem jednoczesnej redukcji materiału,
- drukowanie 3d jest kluczowe dla projektowania biomimetycznego z uwagi na postulat umiejscowienia materiału w miejscach koncentracji naprężeń, a redukcowanie go w miejscach wolnych od jego wpływu,
- komputerowe projektowanie parametryczne jest kluczowe dla rozwiązania złożoności podczas poszukiwania optymalnej formy,
- biomimetyka służy jako pomost pomiędzy światem nauki a projektowania - zaobserwowane, zbadane i prototypowane zjawiska, funkcje i formy mogą zostać zbadane bezpośrednio podczas procesu projektowania architektonicznego.

W rozdziale dotyczącym sposobów wytwarzania materiałów (ang.: *How will we manufacture materials?*) zauważony zostaje fakt występującej konieczności podgrzania i pozostawiania toksycznych substratów przy ich produkcji. W opozycji do tego zostaje postawiona natura, która produkuje w niskiej temperaturze i z biodegradowalnych elementów. Pawlyn stwierdza, że konieczne jest dokonywanie prób emulowania naturalnego wytwarzania celem eliminacji niekorzystnego wpływu produkcji na środowisko naturalne. Notabene, w środowisku naturalnym 96% żyjącej materii jest wytworzone z węgla, tlenu, wodoru i azotu, a pozostałe 4% to: wapń, fosfor, potas, siarka, sód, chlor i magnez. Pawlyn wskazuje podstawowe różnice pomiędzy światem inżynierii i biologii w aspekcie procesów produkcji:

	INŻYNIERIA	BIOLOGIA
Hierarchizacja:	W większości monolityczne struktury: nisko- lub nie hierarchiczne.	Hierarchiczne struktury.
Rozpad:	Niska kontrola rozpadu.	Rozłączna kontrola sztywności i rozpadu.
Wytwarzanie:	Fabrykacja z proszków: Topienie i rozpuszczanie.	Wzrost poprzez przyrastanie.
Forma:	Zewnętrznie narzucone formy.	Samoorganizacja pod wpływem środowiska.
Reakcja na środowisko:	Niewielkie reagowanie na środowisko zewnętrzne.	Reagujące na zmiany środowiska zewnętrznego.
Starzenie się:	Wysoki stopień starzenia się.	Zdolne do wzrostu i samonaprawiania się.
Skład:	Używa całego układu okresowego pierwiastków.	Używa nietoksycznych elementów.

Struktura i materiał są nierozzerwalne w przyrodzie i naturalne struktury zwykle konstruowane są na zasadzie hierarchii. Pawlyn przytacza prosty przykład hierarchicznej optymalizacji użycia materiału, który obrazuje budowę mostu. Most ten w podstawowym wariacie może zostać skonstruowany za pomocą dwóch belek posadowionych na przyczółkach. Pierwszym wariantem optymalizacji byłoby w tym przypadku zastosowanie kratownic pozwalających na zmniejszenie zużycia materiału. Kolejnym natomiast zastosowanie np. kratownic z cięgnami w rozciąganych krzyżulcach.

Fabrykacja (tu: wzrost, przyrastanie struktury) w środowisku naturalnym przebiega w niskich temperaturach. Przyrost materiału w tym przypadku ma bezpośredni wpływ na jego wytrzymałość. Za przykład mogą tutaj posłużyć muszle skorupiaków zbudowane z wielowarstwowo przyrastającego węglanu wapnia. Co istotne, geniusz rozwiązania polega na tym, iż pęknięcie zewnętrznych warstw, dzięki wielowarstwowej strukturze, zachowuje połączenie i zdolność przenoszenia obciążeń. Analogią do tego addytywnego wzrostu jest drukowanie 3d

(tzw. fabrykacja addytywna). Kluczowa w procesie drukowania jest dokładność rozmieszczenia materiałów celem zachowania właściwej pracy ustroju konstrukcyjnego co możliwe jest dzięki jednoczesnemu zastosowaniu mechanizmów projektowania parametrycznego. Dostrzegalna jest tutaj zbieżność z tzw. procesem bottom-up opisanym przez prof. Samka⁷². Sposób drukowania 3d (np. rodzaj stosowanej dyszy drukującej, wydruk w płaszczyznach skośnych, inżynieria materiałowa filamentów) podlega ciągłej ewolucji. Badania w tym zakresie prowadzi m.in. prof. Neri Oxmann w Mediated Matter Group na MIT w Bostonie⁷³. Twierdzi ona, iż jest możliwa produkcja addytywna przy udziale różnych materiałów (np. twardych i elastycznych jednocześnie). Materiały zgodnie z powyższym stają się więc wielofunkcyjne, co jest kluczowe z punktu widzenia synergii biomimetyki. Jednocześnie - drukowanie 3d jest fabrykacją niskotemperaturową - w analogii to tego w jaki sposób natura tworzy struktury - o znikomej emisji CO² w odróżnieniu od fabrykacji typowej dla przemysłu. Aktualnie prowadzone są badania nad możliwością użycia biodegradowalnej celulozy w drukowaniu 3d. Zaawansowana inżynieria materiałowa i biotechnologia stwarzają nadzieję na rozpowszechnienie np. wiązania piasku z węglanem wapnia do produkcji "cegieł", które nie będą wymagały wypalania lub farby, która poprzez pobieranie CO² z atmosfery wytwarza rzeczony węglan wapnia powodując przyrost grubości swojej powłoki. Za przykład może tu posłużyć Biorock Pavilion, w którym rama stalowa o założonym kształcie i zanurzona w wodzie morskiej, poprzez zastosowanie prądu o niskim napięciu (nieszkodliwym dla organizmów żywych) powoduje ekstrakcję z wody węglanu wapnia i jego przyrost na zaprojektowanej konstrukcji. Jest to metoda używana powszechnie do odtwarzania zdegradowanych raf koralowych. Prof. Julian Vincent - jeden z projektantów i członków think-tanku Biorock Pavilion - uważa, że wynikowa wytrzymałość konstrukcyjna materiału (tu: stali + węglanu wapnia) będzie odpowiadała parametrom wytrzymałościowym zbrojonego betonu.

Pawlyn w kolejnej części rozdziału dot. wytwarzania materiałów odnotowuje ich środowiskową odpowiedzialność i responsywność czyli zdolność reagowania. W inteligentnych budynkach proces responsywności polega na czujnikach (ang.: *sensor*), procesowaniu (ang.: *processor*) i reagowaniu (ang.: *actuator*). W naturze proces ten przebiega odmiennie, gdzie czujnik i aktuator są połączone, a procesor jest pominięty. Przykładem może być tutaj szyszka, która otwiera się wysychając i uwalnia nasiona np. sosny. Jej reakcja na zmienną wilgotność powoduje zmianę struktury przy jednocześnie wyraźnie zarysowanym celu funkcjonalnym. Zdolność ta - zdaniem Pawlyna - może zostać wykorzystana na przykład do produkcji materiałów samonaprawiających się. Znaczenie ma tu również bezpośrednio zaimplementowanie żywych organizmów w proces wytwarzania materiałów budowlanych - jak np. bioconcrete powstający przy użyciu bakterii produkujących piaskowiec - oraz mikroskopowa obserwacja funkcji naturalnych mikrostruktur, jak np. farba nanosilikonowa Lotusan prod. STO powstała w wyniku obserwacji "samoczyszczących się", a w istocie hydrofobowych właściwości liści kwiatu Lotosu. Kluczowe znaczenie więc z tej perspektywy mają użyte materiały, nie zaś ich wykończenie.

Będąc więc w pełni świadomym znaczenia i konieczności implementacji idei cradle to cradle w procesie wytwarzania materiałów budowlanych, Pawlyn prezentuje wnioski, które wyciąga z analizy cyklu technologicznego oraz biologicznego. W cyklu technologicznym koniecznym jest ograniczenie emisji CO² - związanej m.in. z produkcją cementu - poprzez niskotemperaturową fabrykację oraz zastosowanie bioinżynierii materiałowej opartej o biomimetykę (np. poprzez opisany powyżej przyrost węglanu wapnia). Przy zastosowaniu szklenia znaczenia ma jego niska emisyjność polegająca na odzysku energii z załamania światła słonecznego nie zaś jego odbijania. Zasadniczą kwestią jest również stosowanie wysokowytrzymałych metali takich jak stal nierdzewna, aluminium lub stal Cortena bez toksycznych powłok (np. farb) tak, aby mogły

⁷² Badania prof. Samka opisano w pkt. 3.3.2 niniejszej dysertacji.

⁷³ Badania Neri Oxmann opisano w pkt. 3.2.1 niniejszej dysertacji.

zostać poddane ewentualnemu recyngowi. Pawlyn propaguje rezygnację z kompozytów i plastików na rzecz biopolimerów, które z uwagi na prosty skład są szybko i w pełni biodegradowalne. Zabójczy dla wszystkich żyjących na Ziemi istot łącznie i przede wszystkim z ludźmi jest wszechobecny mikroplastik. Pawlyn nie przytacza źródła tej informacji, ale twierdzi, że zmniejszenie płodności kolejnych pokoleń w okresie ostatnich 50 lat jest związane bezpośrednio z obecnością mikroplastiku stwierdzonego w przebadanym mleku matek karmiących dzieci oraz nasieniu ich ojców. W sytuacji, w której ok. 30% ogólnej liczby odpadów⁷⁴ - w tym odpadów kompozytowych, ropopochodnych i plastików - ludzkość zawdzięcza procesom budowlanym, ograniczenie ich ilości ma kluczowe znaczenie. Równolegle, przedstawione zostają wnioski z cyklu biologicznego. Naturalnym, odnawialnym i w pełni biodegradowalnym materiałem budowlanym jest drewno i jego pochodne. Istotne jest jednak zastosowanie drewna bez jego malowania lub wykorzystywania klejów aldehydowych celem jego klejenia. Jak wspomniano, prowadzone są obecnie badania nad zastosowaniem celulozy (drewno w ok. 40-50% składa się z celulozy właśnie) do produkcji filamentów do drukarek 3d. Jednocześnie, celem zabezpieczenia drewna przed niekorzystnym działaniem czynników atmosferycznych, absorpcji wilgoci, działaniu grzybów i pleśni oraz celem zachowania odpowiednich parametrów odporności ogniowej możliwa jest jego wstępna obróbka termiczna (tzw. thermodrewno) lub powierzchniowe zabezpieczenie za pomocą kąpieli w kwasie octowym. Kolejnym materiałem, który Pawlyn uważa za możliwy do stosowania w cyklu biologicznym jest np. glina, która wysychająca w słońcu nabiera parametrów konstrukcyjnych. Elementy kompozytowe oraz plastikowe powinny być zdaniem Pawlyna zastąpione biopolimerami jak np. opracowany przez prof. Neri Oxmann chitosan czyli pochodna chityny pozyskiwanej z pancerzy skorupiaków.



fol. 27: ICD / ITKE Research Pavilion / Stuttgart

Instytut Konstrukcji Obliczeniowych (ICD) oraz Instytut Konstrukcji Budowlanych i Projektowania Strukturalnego (ITKE) Uniwersytetu w Stuttgarcie zbudowały wspólnie bioniczny pawilon badawczy. Projekt jest częścią udanej serii pawilonów badawczych, które pokazują potencjał nowatorskiego projektowania, symulacji i procesów produkcyjnych w architekturze. Projekt został zaplanowany i zbudowany w ciągu półtora roku przez studentów i badaczy w multidyscyplinarnym zespole biologów, paleontologów, architektów i inżynierów. Głównym

⁷⁴ Dane pozyskane na podstawie dysertacji dr inż. Macieja Skowrońskiego: *Rekonsumpcja Architektury* opisanej w rozdziale 3.17.

celem projektu jest równoległa, oddolna strategia projektowania biomimetycznych badań powłok kompozytowych z włókien naturalnych oraz opracowanie nowych zrobotyzowanych metod wytwarzania struktur polimerowych wzmocnionych włóknem.

Celem badaczy i projektantów było opracowanie techniki nawijania dla modułowych, dwuwarstwowych struktur kompozytowych z włókien, która redukuje wymagane deskowanie do minimum przy zachowaniu dużego stopnia swobody geometrycznej. W związku z tym przeanalizowano zasady funkcjonalne naturalnych struktur lekkich poprzez opracowanie niestandardowej metody wytwarzania przy pomocy robotów. W oparciu o zróżnicowaną morfologię beleczek i indywidualne układy włókien, wygenerowano dwuwarstwowy system modułowy do wdrożenia w prototypie architektonicznym. Jako materiał budowlany wybrano polimery wzmocniane włóknem szklanym i węglowym, ze względu na ich wysoką jakość działania i potencjał do generowania zróżnicowanych właściwości poprzez zmianę rozmieszczenia włókna. Polimery wzmocnione włóknami są odpowiednie do realizacji złożonych geometrii i organizacji materiałowych wyabstrahowanych z zasad naturalnego budowania. W celu wytworzenia unikalnych geometrycznie, podwójnie zakrzywionych modułów opracowano zrobotyzowaną metodę bezrdzeniowego nawijania, w której zastosowano dwa współpracujące 6-osiove roboty przemysłowe do nawijania włókien między dwoma wykonanymi na zamówienie efektorami ze stalowej ramy utrzymywanymi przez rzeczony roboty. To oddziaływanie włókno-włókno wytwarza podwójnie zakrzywione powierzchnie z początkowo prosto osadzonych połączeń. Kolejność, w jakiej impregnowane żywicą wiązki włókien (tzw. niedoprządy) są nawijane na efektor, jest decydująca dla tego procesu. Pierwsza warstwa z włókna szklanego definiuje geometrię elementów i służy jako szalunek dla kolejnych warstw z włókna węglowego. Warstwy z włókna węglowego działają jako zbrojenie strukturalne i są indywidualnie zmieniane poprzez anizotropowe rozmieszczenie włókien. Indywidualny układ włókien węglowych określają siły działające na każdy komponent, które pochodzą z analizy globalnej struktury. Wygenerowana nawijana składnia jest przekazywana do robotów i umożliwia automatyczne nawijanie 6 warstw włókien. Łącznie wyprodukowano 36 pojedynczych elementów, których geometrie oparte są na zasadach strukturalnych wyodrębnionych z biomimetycznej analizy skrzydeł chrząszcza. Każdy z nich ma indywidualny układ włókien, co skutkuje wydajnym pod względem materiału systemem nośnym. Największy element ma średnicę 2,6 m, a jego ciężar to zaledwie 24,1kg. Na podstawie modułów stworzono więc pawilon badawczy o łącznej powierzchni 50m², objętości 122m³ i wadze 593kg. Pawilon badawczy zaprojektowany i zbudowany przez interdyscyplinarny zespół ICD/ITKE pokazuje, w jaki sposób synteza obliczeniowa biologicznych zasad strukturalnych i złożona wzajemność między materiałem, formą i robotyczną obróbką może prowadzić do generowania innowacyjnych kompozytowych metod konstrukcji z włókien. Jednocześnie multidyscyplinarne podejście do badań nie tylko prowadzi do wydajnych i efektywnych pod względem materiału lekkich konstrukcji, ale także bada nowe walory przestrzenne i poszerza możliwości tektoniczne architektury [s13].

Podsumowując, dział dot. Wytwarzania materiałów zgodnie z zasadami cradle to cradle, Pawłyn przytacza wypowiedź prof. Juliana Vincenta: *Nasze materiały są obojętne biologicznie poprzez wprowadzenie wiązań o wysokiej energii (koniecznie przy użyciu wysokiej temperatury). Biologiczne materiały natomiast ewoluowały do recyklingu, a ich cząsteczki są stabilizowane wiązaniami, które są tak silne jak oczekiwane warunki temperatury i funkcji mechanicznych.*⁷⁵

⁷⁵ oryg.: *Our materials are rendered biologically inert through the introduction of high energy bonds (necessairly using high temperatures). Biological materials have evolved to be recycled, and their molecules are stabilised by bonds that are only just strong enough for the expect conditions of temperature and mechanical function.* Prof. Julian Vincent

Jak stworzyć system zero-waste? jest kolejnym pytaniem, które stawia sobie Michael Pawlyn. Natura funkcjonuje zamkniętych pętlach (ang.: *closed loops ecosystems*), przy użyciu energii pozyskiwanej ze słońca nie wytwarzając odpadów (odpad jednego produktu jest pożywieniem innego). Słowo *waste* w języku angielskim jest, jak zauważa Pawlyn, momentami sprzeczne. W popularnym znaczeniu *waste* znaczy *worthless material* czyli *bezużyteczny materiał*. Jednocześnie jednak istnieje stwierdzenie *such a waste* czyli *co za strata*. Wskazując różnicę pomiędzy sposobem wykorzystywania materiałów przez człowieka w stosunku do natury, Pawlyn prezentuje tabelę:

	SYSTEM KONWENCJONALNY	SYSTEM EKOLOGICZNY
OBIEG ZASOBÓW:	linearny obieg zasobów	obieg zasobów w zamkniętej pętli
SYSTEM:	rozłączny jednofunkcyjny	gęsto połączony i symbiotyczny
ODPORNOŚĆ NA ZMIANY:	odporny na zmiany	adaptujący się do ciągłych zmian
GOSPODARKA ODPADAMI	produkujący odpady	wszystko jest odżywcze
TOKSYCZNOŚĆ:	wciąż często używający toksycznych materiałów	pozbawiony toksyn
CENTRALIZACJA:	często scentralizowany	zróznicowany
KONTROLA:	kontrolowany hierarchicznie	samoregulujący się
PALIWA:	zależny od paliw kopalnych	pozyskujący energię ze słońca
CEL:	zaprojektowany by osiągnąć jeden cel	zoptymalizowany jako cały system
UMIĘJĘTNOŚĆ NAPRAWY:	ekstraktywny	regeneratywny
ZASOBY:	używający globalnych zasobów	używający lokalnych zasobów

Podstawowe znaczenie we prowadzeniu systemu zero waste ma tzw. ekologiczna urbanizacja. Pawlyn przytacza tutaj wypowiedź Susannah Hagan⁷⁶: *W pewnym sensie ekologiczna urbanistyka jest po prostu późnym wkroczeniem w linię ekologicznego pola, która dosłownie i w przenośni nawiązuje do środowiska zbudowanego. Z drugiej strony ma ona potencjał, by być nowym przyczółkiem między planowaniem przestrzennym, a ekologią, tym, który projektuje i jednocześnie broni projektu jako kluczowego elementu niezbędnych przemian w naszych miastach.*⁷⁷ Przedstawione zostają studia przypadków: Cardboard to Caviar Project czy Mobius Project zobrazowany poniżej. Zauważalna jest tutaj zbieżność idei z propagowanymi przez Vincenta Callebaut, którego działalność wspomniano w niniejszej dysertacji. Abstrahując od zasad zrównoważonego projektowania urbanistycznego, które nie jest przedmiotem niniejszej pracy, znaczenie ma tutaj społeczny aspekt ekologicznej urbanizacji. Organizmy funkcjonujące naturalnie skupione są w zróżnicowanych lecz spójnych funkcjonalnie ekosystemach. Brak któregośkolwiek z elementów (np. wymarcie gatunku) pozostawia nieodwracalne zmiany dla funkcjonowania całego systemu. A analogii do tej

⁷⁶ Susannah Hagan, ur. W 1951r. brytyjska architektka, założycielka R_E_D (Research into Environment + Design), profesor i badaczka w Royal College of Art School of Architecture. Autorka licznych publikacji na temat zrównoważonej urbanizacji miast.

⁷⁷ oryg.: *In one way, Ecological Urbanism is simply a late entry into a line of ecological subfield that engage literally or figuratively with the built environment. In another way, it has potential to be a new bridgehead between urbanism and ecology, one that projects and defends design as vital element in the necessary transformations of our cities.*

sytuacji, w aspekcie ekologicznej urbanizacji znaczenie ma jej społeczny aspekt. Zaangażowanie lokalnej społeczności, gdzie umiejętności poszczególnych jej członków traktowane są jako zasoby do wykorzystania jest kluczowe w urbanistyce współczesnego, biomimetycznego miasta.



fol. 28: Mobius Project / Michel Pawlyn

Pawlyn podsumowując część dotyczącą systemów bez odpadów zauważa konieczność tzw. rekonsupcji architektury⁷⁸. W biomimetycznym aspekcie rekonsupcji znaczenie ma synergia pomiędzy biomimetyką a bioutylizacją.

Kluczowe znaczenie w sytuacji postępujących zmian klimatu (tj. powodzi, suszy, zwiększonego poziomu wód w oceanach) ma gospodarka wodna. Jak wiadomo powszechnie, w atmosferze ilość wody pozostaje stała. Działalność człowieka jednak związana z emisją CO², urbanizacją i zabudowywaniem powierzchni naturalnie magazynujących wodę przy jednoczesnej wycince lasów deszczowych bezpośrednio wpływa na gospodarkę wodną. Poza koniecznymi zdaniami autora zmianami w zakresie urbanizacji miast i zachowania powierzchni biologicznie czynnych kluczowe jest działanie na rzecz utrzymania średniej temperatury atmosfery na bieżącym, lub niższym poziomie. Wzrost temperatury atmosfery spowoduje postępujące już topnienie lodowców i w konsekwencji przyrost wody w morzach i oceanach co wpłynie kolejno na zmiany klimatu. Świat natury – jak pisze Pawlyn – posiada kilka podpowiedzi w tym zakresie, które inżynieria może naśladować. Kluczowa jest więc minimalizacja strat wody i jej magazynowanie. W ramach studiów przypadków Pawlyn zwraca uwagę na strukturę (tu: przekrój poziomy) kaktusa, który maksymalizuje powierzchnię magazynowania i jednocześnie jest stanie pobierać wodę z otoczenia. Analogicznie, ukształtowanie nozdrzy wielbłądów pustynnych powoduje, iż są one w stanie poprzez rozbudowany system kanałów pobierać wodę z otoczenia. W inżynierii, zasadnicze znaczenie ma również zastosowanie silników wodorowych, w działaniu których woda jest „odpadem”.

Pawlyn definiuje więc kilka kluczowych kwestii z dziedziny biomimetyki pozwalających w racjonalny sposób gospodarować wodą:

- wykorzystywanie naturalnego parowania i skraplania celem pozyskiwania i odzyskiwania wody z otoczenia,

⁷⁸ Rekonsupcja architektury wspomniana została w rozdziale 3.17 na podstawie dysertacji dra inż. arch. Macieja Skowrońskiego.

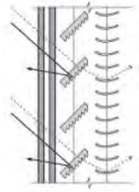
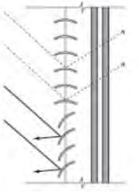
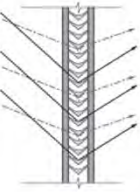
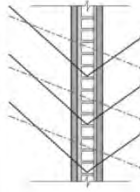
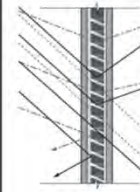
- wykorzystanie naturalnie występujących zjawisk atmosferycznych do pozyskiwania wody (magazynowanie wody deszczowej, pobieranie wody z mgły, odsalanie wody pochodzącej z bryzy morskiej),
- wykorzystywanie grawitacyjnego transportu wody zgodnie z prawe Murraya⁷⁹ celem ograniczenia zużycia energii związanego z jej przepompowywaniem,
- jeżeli to możliwe – projektowanie gospodarki wody w zamkniętych pętlach (closed loops) ze ponownym użyciem „szarej wody”, zastosowaniem lokalnych szklarni i.t.p.

Kolejną funkcją, którą analizuje Pawlyn celem naśladowania naturalnie występujących systemów jest gospodarka cieplna. Istotą jest tutaj homeostaza, czyli utrzymanie stałych parametrów życia, którą przynieść może połączenie budynków z ekologią. Dwa główne źródła pozyskiwania energii cieplnej organizmów są metabolizm oraz energia słoneczna. Notabene, przy pewnym stopniu uogólnienia, zastosowanie zwiększonej grubości izolacji termicznej budynków pasywnych przy jednoczesnym ograniczeniu strat ciepła przez wentylację, mostki cieplne i przenikanie, w budynkach pasywnych powoduje, iż znaczna część zysków cieplnych pochodzi z wewnątrz budynku (tj. urządzeń i użytkowników). Można i więc zauważyć pewną analogię w stosunku do energii pochodzącej z metabolizmu. W naturze więc w związku z powyższym kluczowa w termoregulacji jest redukcja strat ciepła.

Zasadniczą rolę w termoregulacji ma również, jak stwierdzono powyżej, energia słoneczna jednocześnie będąc bezpośrednim źródłem ciepła jak i wspierająco w procesie waporyzacji, czyli parowania. Zasadniczo, ciepło odprowadzane jest więc czterema drogami, które wykorzystywane są środowisku naturalnym, i które mogą być bezpośrednio adaptowane w procesie projektowania architektonicznego i instalacyjnego. Są to: promieniowanie – oddawanie ciepła bezpośrednio do atmosfery, parowanie – w wyniku różnicy temperatur pomiędzy płynem a jego otoczeniem, konwekcja – swobodna wymiana ciepła spowodowana samoistnym ruchem oraz przewodzenie – oddawanie ciepła poprzez przenikanie. W architekturze więc pozyskiwanie energii słonecznej jest kluczowe i z zasady biomimetyczne. Istotne są wspomniane powyżej zastosowanie szkła o niskiej emisji pozwalającej na załamanie promieni słonecznych zamiast ich odbijania oraz ewentualna regulacja nasłonecznienia zapobiegająca przegrzewaniu. Aktualnie prowadzone są badania nad systemem D.D.C.S. – opisaną poniżej inteligentną fasadą szklaną samoregulującą oświetlenie wewnątrz pomieszczeń. Tego typu rozwiązania podlegały już analizie i interpretacjom architektonicznym jak np. w budynku Arab Centre autorstwa Jeana Nouvela`a gdzie fasada zbudowana jest z reagujących na ilość światła słonecznego przesłon podobnych do przesłony aparatu fotograficznego.

Kontynuując wątek pozyskiwania energii słonecznej Pawlyn zauważa, że istotna z punktu widzenia architektury jest minimalizacja samo zacieniania budynku. Istotne jest natomiast zbieranie i skupianie energii słonecznej celem redukcji energii z nieodnawialnych źródeł dla potrzeb oświetlenia przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnych warunków. Harvard Graduate School od Design przy udziale Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering podjął próbę zbudowania D.D.C.S. – dynamic daylight control system, czyli dynamicznego systemu kontroli światła słonecznego (tab.1). Założeniem podstawowym prototypów nowego typu fasady szklanej jest integracja wszystkich wspomnianych powyżej funkcji w jednym panelu szkła: regulacji temperatury, regulacji oświetlenia, zmiany koloru i transparentności.

⁷⁹ Zakładające zmianę grubości „gałęzi” systemu transportowego celem minimalizacji kosztów (wydatku energetycznego) związanego z transportem przy zachowaniu pełnej funkcjonalności.

Section diagram					
System name	Prisms and venetian blinds	Louvers and blinds	Fish systems	Laser cut panel	DDCCS
Climate	Temperate climates	All Climates	Temperate climates	All Climates	All Climates
Shading	Yes	Yes	Depends	No	Yes
Glare protection	Yes	Yes	Yes	No	Yes
View outside	Bad	Bad	Moderate	Moderate	Good
Light redirection	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Energy saving	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Adjustability	Yes	Yes	No	No	Yes
Integration with glass	No	No	Yes	Yes	Yes
Availability	Yes	Yes	Yes	Testing	Testing

tab. 1: D.D.C.S. – dynamiczny system kontroli światła słonecznego.

Ostatnią z kwestii poruszanych przez Pawlyna jest próba znalezienia odpowiedzi na pytanie dot. zaopatrzenia budynków w energię (ang.: *How will we power buildings?*). Odnotowana zostaje konieczność redukcji zapotrzebowania zamiast wzrostu ilości źródeł energii. Kluczową – zdaniem Pawlyna – energią do zastosowania jest energia słoneczna + pochodne czyli wiatr, geotermia, biomasa. Energia słoneczna jest w stanie dostarczyć 10.000 krotność energii zapotrzebowanej na Ziemi i notabene nie jest to energia odnawialna, gdyż źródło jej pochodzenia nie odnawia się w funkcji czasu lecz poprzez permanentne wybuchy na powierzchni słońca i promieniowanie fotonów powstałe w ich efekcie trwa nieskończenie. Jest to energia, która jest nietoksyczna i efekt przetworzenia fotonów poprzez ogniwa fotowoltaiczne na energię elektryczną sprawia, iż jest ona szybko kompatybilna z szerokim zakresem funkcjonujących na Ziemi systemów. Może być produkowana lokalnie oraz w sieciach sprzedaży przy udziale geopolityki solarnej – w której co istotne dostrzega Pawlyn podstawowy problem rozpowszechnienia tego typu źródła pozyskiwania energii.



fot. 29: Green Power Island / Dania

Energia słoneczna jest „czysta”. Nie powoduje zanieczyszczenia powietrza, a efektem zmiany systemu z paliw kopalnych na energię słoneczną następuje redukcja emisji CO₂ oraz przywracanie zdegradowanych ekosystemów i redukcja ocieplenia klimatu. Pawlyn przytacza wyniki obliczeń wskazujące zapotrzebowanie na urządzenia do produkcji energii elektrycznej

przy udziale energii słonecznej w założeniu całkowitej przebudowy systemu energetyki światowej pomiędzy rokiem 2016 a 2046. Biorąc więc pod uwagę zapotrzebowanie energetyczne w roku 2016, potrzeba by 3.6mln turbin wiatrowych, 3 biliony domowych rozmiarów paneli PV, kilka hydroelektrowni oraz 600.000km² farm solarnych wybudowanych w ciągu najbliższych 30 lat (do roku 2046) aby całkowicie przejść na energię odnawialną. W porównaniu, w ciągu ostatnich 20 lat w powstało ok. 3 bilionów telefonów komórkowych i mniej więcej tyle samo komputerów stacjonarnych. Pawlyn wskazuje, iż podstawową jego zdaniem przeszkodą stojącą na drodze przebudowy systemu energetyki światowej jest polityka.

Podsumowując, Pawlyn zwraca uwagę, że zasadą zrównoważonego, biomimetycznego budownictwa jest interdyscyplinarne podejście do projektu nastawionego poza efektem na zerową produkcję odpadów oraz realizację, funkcjonowanie i rozbiórkę poprzez wiele zamkniętych pętli zgodnie z ideą cradle to cradle. Kluczowa jest tutaj kooperacja pomiędzy architektami, urbanistami i ekologami tak, aby modele miast były budowane na wzór modeli ekosystemów.

3.1.4. Zastosowanie biomimetyki – przewodnik dla architektów wg Michaela Pawlyna.

Michael Pawlyn dokonuje przystępnego w odbiorze określenia zasad działania natury tak, aby mogły być one zaimplementowane w działalności architektonicznej. Bada wydajność naturalnie występujących struktur, ich materiał, sposób gospodarowania odpadami, pozyskania energii, dystrybucję ciepła czy też pozyskanie zasobów. Jest on jednym z ekspertów w kwestii biomimetyki w architekturze w środowisku zrównoważonym. Przeanalizowano więc zaproponowane przez niego wytyczne do biomimetycznego projektowania [8] i w związku z użytecznymi celami niniejszej pracy, część z nich zaprezentowano poniżej:

1. Umiejętności niezbędne do projektowania biomimetycznego:

- maksymalizacja interdyscyplinarnej wiedzy celem formułowania właściwych pytań (np. poprzez zrozumienie, w jaki sposób inżynier analizuje system i słownictwo w biologii),
- włączenie w pracę inżynierską specjalisty biologa na możliwe wczesnym etapie pracy,
- praca krzyżowa: rozwijanie umiejętności oraz włączanie do pracy możliwie wielu dyscyplin nauki i inżynierii,
- rozwijanie myślenia systemowego: nauka rozpoznawania elementów, połączeń międzysystemowych i ogólnych celów,
- poszerzanie zestawu wzorców projektowych: analiza dwóch głównych kierunków implementacji biomimetyki: odgórne (zaczyna się od problemów projektowych, identyfikuje w jaki sposób rozwiązano równoważne problemy w środowisku naturalnym, a następnie przekształca je w rozwiązanie) i oddolne (jako punkt wyjścia bierze zjawiska biologiczne, identyfikuje załączki, a następnie wdraża rozwiązanie odpowiadające potrzebom człowieka).

2. Rozpoczęcie projektu biomimetycznego:

- identyfikacja absolutnie idealnego rozwiązania, aby następnie wrócić do czegoś możliwego do osiągnięcia w ramach niezbędnych ograniczeń, minimalizacja kompromisu wobec ideału,
- integracja i wykorzystanie lokalnego wymiaru kulturowego w połączeniu z architekturą,
- analiza i ustalenie w jaki sposób działa nienaruszony ekosystem lub w jakim miejscu działa; dokonanie próby uzyskania wyniku jak najbliższego obserwacji,
- ustalenie i wskazanie elementów konstrukcyjnych, które mogą zostać zmienione oraz tych, które wymagają pozostawienia lub optymalizacji.

3. Praca zgodna z głównymi zasadami:

- struktura: mniej materiału, więcej projektowania (ang.: *less material, more design*),
- materiały i produkcja: odpowiednie elementy, pozyskane we właściwy sposób tj. przy użyciu analizy zgodnej z ideą cradle to cradle,
- ekosystem: tworzenie regeneracyjnych układów zamkniętych opartych na energii słonecznej,
- odpady: traktowanie odpadów jako elementów w zamkniętych pętlach cradle to cradle, w których odpady jako takie nie występują.

4. Radykalnie zwiększanie efektywności wykorzystania zasobów:

- określenie wyzwania projektowego w kategoriach funkcjonalnych oraz analiza w jaki sposób funkcja jest realizowana w biologii,
- globalna analiza problemu funkcjonalnego od poziomu podstawowych zasad i optymalizacja całego systemu,
- lokalizacja właściwego materiału we właściwym miejscu (użycie skutecznych form strukturalnych, które wykorzystują kształt i hierarchię, aby uzyskać maksymalny efekt),
- dostosowanie projektu do specyfiki lokalizacji oraz do zmieniających się warunków lokalnych – np. nasłonecznienia, temperatury, opadów i.t.p.,
- poszukiwanie dostępnych źródeł energii – np. stałej temperatury gruntu, chłodnej temperatury głębokiej wody morskiej, niezawodnego kierunku wiatru itp.,
- integrowanie rozwiązań - np. rozwiązań do zarządzania wodą, które pomagają również w termoregulacji i przywracaniu różnorodności biologicznej.

5. Zmiana z systemów linearnych do systemów zamkniętych pętli:

- określenie kluczowych elementów i przepływów w systemie celem dostrzeżenia wyzwań i możliwości,
- identyfikacja istniejących lokalnie elementów, które można łączyć w celu zwiększenia wydajności zasobów,
- dodawanie do systemu elementów, które przekształcają odpady w wartość,
- rozszerzanie granic systemu i łączenie się z przepływami zasobów w sąsiednich schematach,
- poszukiwanie synergii między zastosowanymi technologiami oceniając nakłady i wyniki każdej z nich,
- sprawdzanie odporności systemu – analiza słabych i silnych elementów systemu tak, aby optymalizować jego konstrukcję,
- zapobieganie marnotrawstwu na każdym poziomie: zasobami fizycznymi, zasobami finansowymi i niewykorzystanymi zasobami ludzkimi,
- rozważenie konwencjonalnego podejścia do własności zasobów - badanie możliwości dzierżawy usług zamiast kupowania ich,
- rezygnacja z optymalizacji elementów, których umiejscowienie w systemie jest wątpliwe.

6. Przesunięcie z gospodarki opartej na paliwach kopalnych do gospodarki słonecznej:

- analiza możliwości implementacji prosumenckiego systemu energii,
- zrównoważenie koszty poprzez całkowite zintegrowanie systemów, tak aby stanowiły część struktury obiektu, a nie zespół oddzielnych elementów,

- opracowanie planu działania systemu w oparciu o potencjalne zyski z zastosowania energii słonecznej - badanie dostępnych możliwości celem wzrostów wydajności zasobów.
7. Korzystanie z wszystkich zasobów: zarządzanie wartością i informacjami (zasoby ludzkie, społeczne i kulturowe):
- analiza wykorzystania lokalnych zasobów ludzkich (np. mieszkańców i współwłaścicieli) do dalszego ulepszania projektu,
 - zwrócenie uwagi na otoczenie kulturowe, które jest jednym z dziesięciu pominiętych zasobów: wernakularna architektura i lokalne tradycje low-tech mogą oferować rozwiązania różnorodnych problemów, pracując w tandemie często z wyższymi technologiami,
 - wykorzystaj wiedzy lokalnych antropologów rozwoju, organizacji pozarządowych celem uzyskania wskazówek i wsparcia.
8. Biomimetyka dla opłacalności:
- zachęcanie do oceny wartości całego „życia” obiektu i zapobieganie ocenie krótkoterminowej: koszt realizacji budynku stanowi niewielki procent jego kosztów eksploatacji w całym okresie jego funkcjonowania; optymalizacja wartości nie jest tym samym, co cięcie kosztów,
 - ocena naturalnych możliwości programowania kontrolowanej temperatury i wilgotności w opozycji zaprojektowania konwencjonalnych systemów wentylacji i klimatyzacji,
 - propagowanie stosowania lokalnych materiałów celem minimalizacji śladu węglowego związanego z ich transportem.⁸⁰

3.1.5. Kwalifikowalność biomimetyki wg Alicji Maciejko.

Dr Alicja Maciejko⁸¹ w swoim artykule dot. inspiracji naturą w projektowaniu architektonicznym [20] zauważa rozwój architektury od momentu wyraźnego oddzielenia architektury i natury - ochrony przed wpływem czynników zewnętrznych - do momentu czerpania wzorców w zakresie budowy form oraz obserwacją skutecznych samowystarczalnych procesów (np. wzrostu). Architektura jej zdaniem zostaje poszerzona dzięki temu o nietechniczny materiał i tworzywo takie jak materiał biologiczny oraz ideologię proekologiczną. Architektura krajobrazu jednocześnie staje się przedłużeniem architektury w stronę natury. *Widoczne są radykalne zmiany w stosunku do dotychczasowej praktyki budowlanej i spuścizny historii architektury. Dotyczą one kształtowania form konstrukcji (np. nowe formy i procesy biologiczne), powłok (np.: żywe elewacje roślinne), integracji przestrzeni zurbanizowanej z krajobrazem, ale przede wszystkim widoczna jest reorientacja doktryny ochrony środowiska oraz podbudowy teoretycznej i ideologicznej kształtowania form architektury na podobieństwo form życia.*⁸² – twierdzi Maciejko.

Zauważa również, iż podczas analizy lub też kwalifikacji obiektu architektonicznego jako biomimetycznego, warto zbadać, czy powstał on jedynie w wyniku inspiracji naturalnie występującą formą najczęściej przy użyciu tzw. metaforyki roślinnej, wykorzystania materiałów, czy też jego „bioniczność” spełniona zostaje w formie spójnego systemu odpowiadającego architekturze zrównoważonej. *Powoływanie się na związki z naturą nie powinno być*

⁸⁰ Michael Pawlyn: *Biomimicry in Architecture*, RIBA Publishing, London, 2016r.

⁸¹ dr inż. arch. Alicja Maciejko: adiunkt na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

⁸² Alicja Maciejko: *Inspiracje w architekturze. Część 2. Natura.*, Builder 44, czerwiec 2011r.

uprawnione, jeśli nie wynika z przemyślanej inspiracji, zbadania regionalnej zależności konkretnego miejsca (np. od materiałów lokalnych), emocji i potrzeb użytkowników oraz efektywności konstrukcyjnej i materiałowej.⁸³ Widać tutaj pewną analogię w stosunku do poglądów Michaela Pawlyna wyodrębniającego biomimetykę i biomorfizm. Maciejko, z uwagi na brak jasnych kategorii kwalifikacji obiektu architektonicznego jako biomimetycznego co pozwoliłoby wyraźnie określić granicę „integracji” świata natury i architektury pyta retorycznie *jak zapewnić harmonijną egzystencję człowieka z naturą, a jednocześnie chronić go przed je niszczyielskim wpływem?*⁸⁴ O ile rozumiała jest idea holistycznego podejścia do mimetyki tak, aby naśladowanie nie było jedynie prostym odzwierciedleniem formy, która to w większości przypadków obarczona będzie błędem skali, o tyle harmonijną egzystencję człowieka z naturą oraz ochronę przed jej niszczyielskim wpływem zapewniać powinna architektura zrównoważonego rozwoju. Istotne jest tutaj wyodrębnienie biomimetyki jako pewnego rodzaju idei, koncepcji poszukiwań, nie zaś gotowej odpowiedzi lub swoistego absolutu.

Maciejko, podobnie jak Lebediew, zauważa *zafałszowany przekaz, że architektura organiczna to przede wszystkim swobodnie, plastycznie ukształtowana bryła budynku.*⁸⁵ Zauważa też, że *sama plastyczność form, nawet jeśli w domyśle i warstwie symbolicznej wywodzi się z estetyki „naturalnych” krajobrazów lub budowy organizmów żywych, często jest kreowana jako całkowicie sztuczna rzeczywistość, konstrukcje są wymuszone, a układ konstrukcyjny nie jest tożsamy z układem wizualnym (przebiegu sił).* Dodaje jednak, że *wiele obiektów o układach tradycyjnych, prostych, belkowo-słupowych (np. szkieletowe – organiczne konstrukcje drewniane) w dużo większym stopniu spełniają wymóg budownictwa organicznego.*⁸⁶ Należałoby zdefiniować organiczne konstrukcje drewniane oraz budownictwo organiczne aby w pełni zrozumieć sens powyższego stwierdzenia. Zrozumiałe jest odnotowanie chaosu w analizie biomimetycznych form architektonicznych oraz kolejna próba skonfrontowania „wymuszonego naśladownictwa” z „twórczą inspiracją”. Jeżeli założymy jednak, że „organiczny” to przynależny do świata zwierzęcego lub roślinnego, właściwy organizmom żywym lub z nich pochodzący⁸⁷, organiczne konstrukcje drewniane opisane przez dr Maciejko będą biomimetyczne.

Podkreślając, iż w działaniach biomimetycznych natura powinna zostać przetworzona przez czynnik logiczny, Maciejko przytacza opinię prof. Jadwigi Sławińskiej: *Z jednej strony naturę postrzega się jako źródło inspiracji dla konstruowania form architektonicznych i godną naśladowania mistrzynię, z drugiej strony – neguje się jej nieomylność, przedkładając zdobycze cywilizacji, które ją prześcignęły – choć niezastąpione we współczesnym świecie – w naturze nie mają swojego odpowiednika lub choćby pierwowzoru.* Jak twierdzi prof. Sławińska: *wykorzystanie praw fizyki dla świadomie zamierzonych celów oraz ślepe, podległe tym samym prawom działanie ewolucji prowadzi nieraz do zbliżonych rezultatów.*

W praktycznym aspekcie inspiracji zjawiskami pochodzenia naturalnego przytoczona zostaje wypowiedź Santaigo Calatravy: *Istnieje wiele przykładów na to, że można wręcz przenieść z natury prawdziwe zasady i metafory obserwując rośliny i zwierzęta. Dla mnie są dwie przewodnie zasady, które można znaleźć w naturze i które są najbardziej właściwe dla budownictwa. Jedną jest optymalne wykorzystanie materiału, drugą – zdolność organizmów do zmiany kształtu w procesach wzrostu i ruchu.*⁸⁸

⁸³ Alicja Maciejko: *Inspiracje w architekturze. Część 2. Natura.*, Builder 44, czerwiec 2011r.

⁸⁴ Ibidem

⁸⁵ Ibidem

⁸⁶ Ibidem

⁸⁷ Definicja wg Słownika Języka Polskiego

⁸⁸ Alicja Maciejko: *Inspiracje w architekturze. Część 2. Natura.*, Builder 44, czerwiec 2011r.

3.2. Interdyscyplinarne znaczenie biomimetyki

3.2.1. Mediated Matter Group (MIT Media Lab) / Neri Oxman – nowe technologie w dziedzinie biomimetyki.

Neri Oxman (ur. 1976r.), amerykańka izraelskiego pochodzenia jest architektką, projektantką i profesorem w MIT (Massachusetts Institute of Technology) Media Lab, gdzie prowadzi grupę badawczą o nazwie „Mediated Matter”. Jej głównym zainteresowaniem jest próba odejścia od montażu w stronę wzrostu obiektów architektonicznych. W jej pracy naukowej i badawczej biomimetyka ma kluczowe znaczenie. Używa projektowania komputerowego pozwalającego na projektowanie złożonych form za pomocą prostego kodu, drukowania przestrzennego umożliwiającego produkowanie części przez dodawanie materiałów zamiast ich odcinania, inżynierii materiałowej pozwalającej przewidzieć zachowanie się materiałów w wysokiej rozdzielczości oraz biologii syntetycznej umożliwiającej projektowanie nowych funkcji biologicznych przez zmiany DNA [13].

Oxman pisze o świecie i środowisku jako o organizmach, zmieniających się regularnie i reagujących na ich użycie, pełnych gradientów koloru i właściwości fizycznych, a nie ostrych granic. Zaproponowała opracowanie ekologii materiałowej z *holistycznymi produktami, charakteryzującymi się gradientami właściwości i wielofunkcyjnością*⁸⁹ - w przeciwieństwie do linii montażowych i *świata z części*⁹⁰. W wystąpieniu o projektowaniu na przecięciu ścieżki technologii i biologii [s14] twierdzi, że *założenie, że części wykonane są z pojedynczych materiałów i spełniają określone funkcje są głęboko zakorzenione w projektowaniu (i - aut.) narzucone przez sposób, w jaki pracują przemysłowe łańcuchy dostaw. (...) Jak wyglądałoby projektowanie, gdyby przedmioty były jednoczęściowe? Czy powrócilibyśmy do lepszego tworzenia?*⁹¹ Opisuje ona swoją pracę jako przejście od konsumpcji natury jako zasobu geologicznego do redagowania go jako biologicznego [10]. Prowadzi to do wykorzystania naturalnych kształtów i tekstur na dużą skalę w celu inspiracji i włączenia żyjących elementów w procesy wytwarzania, takie jak świecące bakterie w projekcie Living Mushtari lub wykorzystanie jedwabników w Silk Pavilion (fot. 30).



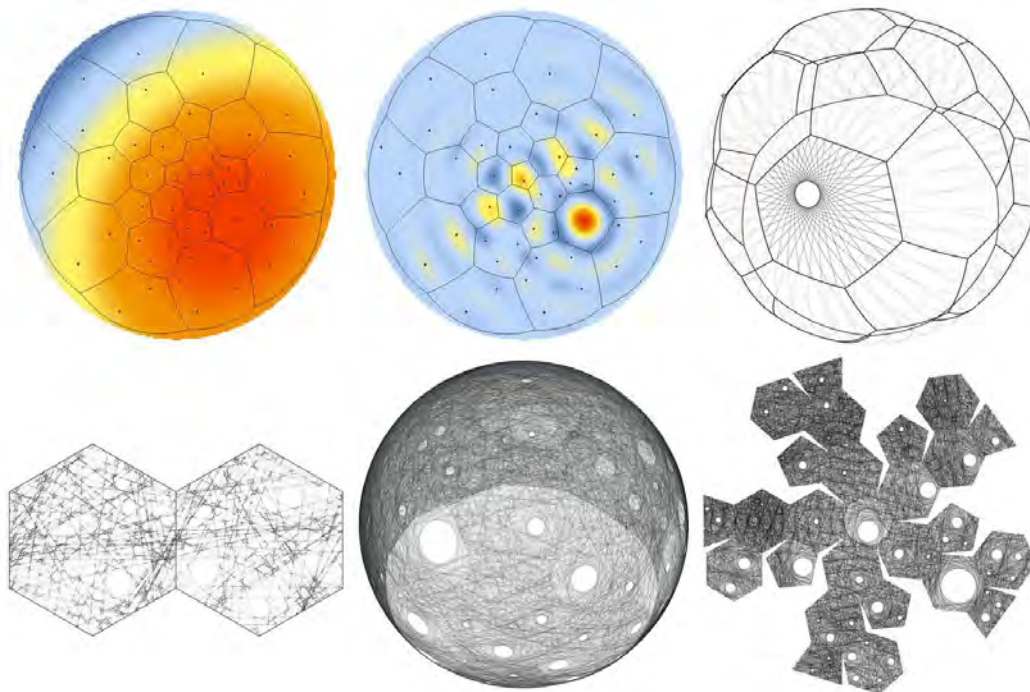
fol. 30: Silk Pavilion - Mediated Matter Group (MIT MA)

⁸⁹ https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology

⁹⁰ Ibidem

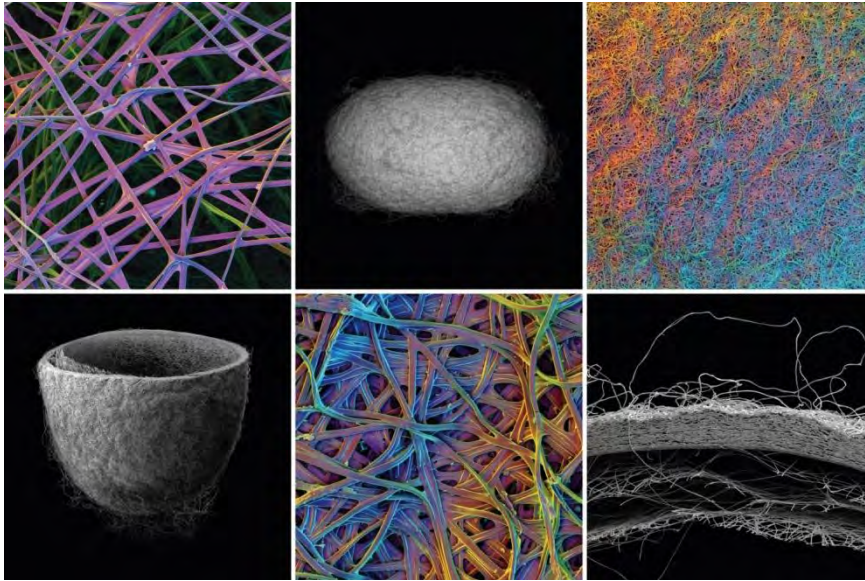
⁹¹ Ibidem

Pawilon Jedwabny (Silk Pavilion) zaprojektowany i wykonany przez Mediated Matter Group obrazuje połączenie produkcji cyfrowej i biologicznej połączonych w jeden obiekt. Wstępne badania nad pracą jedwabników pozwoliły stwierdzić, że są one w stanie na płaskich powierzchniach tkać płaski, jedwabny kokon. Umiejętność tą wykorzystano do stworzenia jedwabnej kopuły, której wstępna konstrukcja została zaprojektowana z profili aluminiowych (jako wielościan sferyczny na podstawie 26-ciu pięcio- i sześcioboków) oraz paneli wykonanych z nici jedwabnych położonych przez sterowaną komputerowo maszynę CNC. Z uwagi na zaobserwowany fakt migrowania jedwabników do stref odpowiedniego dla siebie nasłonecznienia i temperatury (tam, gdzie sieć byłaby najgęstsza) przeprowadzono analizę nasłonecznienia pomieszczenia, w którym umiejscowiono pawilon tak, aby poprzez jego zaprojektowaną perforację stworzyć jedwabnikom optymalne warunki pracy (tu: tkania). Centralny oculus znajduje się na elewacji wschodniej i może być używany jako zegar słoneczny. Całkowitą zmienność gęstości opracował sam jedwabnik wdrożony jako drukarka biologiczna w tworzeniu struktury wtórnej. Po usunięciu jedwabników podkonstrukcja została zdemontowana, a kopuła podwieszona.



fol. 31: Silk Pavilion - Mediated Matter Group (MIT MA)

Poza stwierdzoną biomimetyczną integracją rozwoju ze wzrostem udowodniono w ten sposób, że de facto można "zatrudnić" jedwabniki do tkania zaprojektowanej struktury zamiast pozyskiwać jedwab gotując kokony z larwami w środku [21]. Równolegle zostało zbadane wykorzystanie jedwabników jako podmiotów, które mogą "obliczyć" materialną organizację w oparciu o zewnętrzne kryteria wydajności. W szczególności zbadano tworzenie się włókninowych struktur wytwarzanych przez jedwabniki jako schematy obliczeniowe do określania kształtu i optymalizacji materiału struktur powierzchniowych opartych na włóknie [21]. Analizy te obrazuje m.in. fot. 32 pozyskana dzięki uprzejmości Mediated Matter Group.



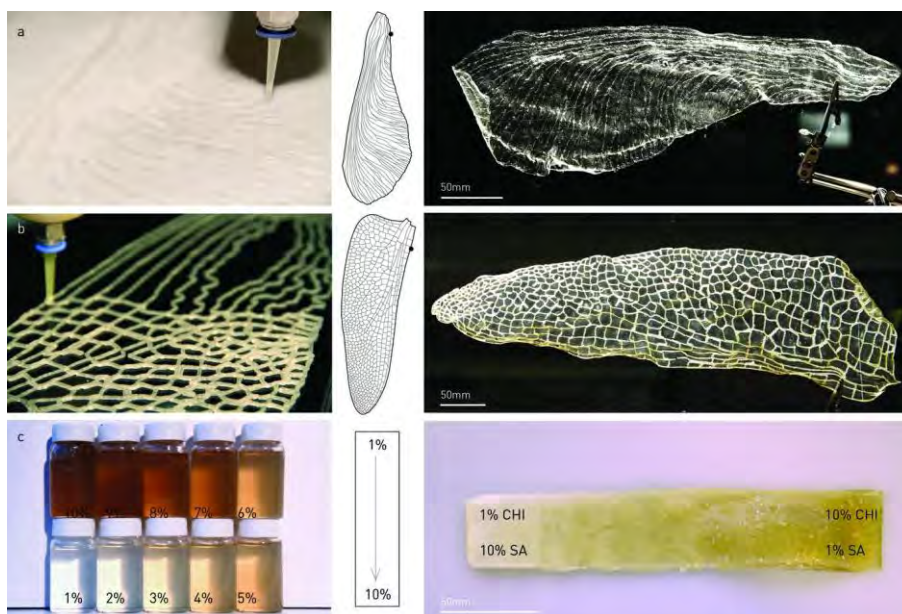
fot. 32: Analizy biologiczne struktury tkania i przekroju kokonu jedwabnika morwowego (*Bombyx Mori*). Skanowanie przeprowadzono w kooperacji z Jamesem Weaverem, Wyss Institute, Harvard University

W rozwinięciu badań związanych z Silk Pavilion, Mediated Matter Group przeprowadziło badania nad strukturami bio-homeomorficznymi [21] (również przy "zatrudnieniu" jedwabników), których budowa sprowadza się do czterech kolejno następujących po sobie kroków:

- projektu rusztowania o właściwościach odpowiedzialnych za „kondycjonowanie” czynnika biologicznego; w tym przypadku był to jedwabnik morwowy – *Bombyx Mori*,
- uwarunkowany ruch organizmu w obrębie struktury po zaprojektowanym rusztowaniu,
- odkształcenie rusztowania przez dodatek materiału - naturalny jedwab,
- zmiana oryginalnego rusztowania w wyniku działania jedwabnika i uzyskanie wynikowej struktury splotu.

Neri Oxman stara się tym samym odwrócić zależność materiału i formy. Zależy jej, aby to materiał kształtował formę, a nie odwrotnie.

Mediated Matter Group prowadzi jednocześnie badania nad addytywnym wykonywaniu biodegradowalnych kompozytów hydrożelowych. Badania koncentrują się na opracowaniu materiałów konstrukcyjnych do nakładania addytywnego, uwzględnieniu gradientów materiałów i ich właściwości oraz wytwarzaniu systemów biodegradowalnych w skali architektonicznej [35]. Technologia obejmuje sterowany robotycznie system AM (ang.: *Additive Manufacturing*) do produkcji biodegradowalnych obiektów kompozytowych, łączący naturalne hydrożele z innymi organicznymi kruszywami. Wyprodukowane przedmioty mogą być chemicznie stabilizowane lub rozpuszczone w wodzie i poddane recyklingowi w ciągu kilku minut. Zastosowania obejmują wytwarzanie w pełni nadających się do recyklingu produktów lub tymczasowych elementów architektonicznych, takich jak konstrukcje namiotowe o stopniowanych właściwościach mechanicznych i optycznych. Jednym z materiałów wykorzystywanych przez MMG (ang.: *Mediated Matter Group*) jako biokomponent do wydruków 3d, o którym prof. Oxman wspomina w swoim wystąpieniu [s14] jest chityna pozyskana między innymi z pancerzy skorupiaków.



fol. 33: Water-Based Additive Manufacturing - Mediated Matter Group (MIT MA)

Fabrykacja addytywna materiałów biodegradowalnych⁹² została użyta przez prof. Oxman z zespołem do pracy nad Pawilonem Oceanicznym (ang.: *Ocean Pavilion*) opisanym szczegółowo w artykule konferencyjnym IASS (ang.: *International Association for Shell and Spatial Structures*) w 2018r. [34]. Obecnie, Mediated Matter Group prowadzi badania nad wytwarzaniem materiału, który byłby pochodną chitosanu i celulozy, podobnie jak laboratorium stowarzyszone z Terreform ONE Mitchella Joachima.

3.3.2. Biomimetyka w kształceniu inżynierskim wg. prof. Andrzeja Samka.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Samek urodził się 22 czerwca 1924 roku w Krakowie. W latach 1945-50 studiował na Wydziałach Politechnicznych Akademii Górniczo-Hutniczej, gdzie w roku 1963 doktoryzował się i w roku 1968 obronił pracę habilitacyjną. W 1983 roku uzyskał tytuł profesora nadzwyczajnego, a w roku 1991 tytuł profesora zwyczajnego. W działalności zawodowej poświęcał się projektowaniu procesów technologicznych i oprzyrządowania. Wydał kilka podręczników i posiada ponad dwieście publikacji krajowych i zagranicznych [6,7]. W latach 2003 - 2014 związany był z Akademią Górniczo-Hutniczą, gdzie pracował w Katedrze Automatyzacji Procesów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Zainteresowania bioniką wzbogaciły jego działalność w zakresie robotyki. Ich efektem był m. in. wniosek patentowy na konstrukcję robota przemieszczającego się wewnątrz rur. Robot został zaprojektowany i wykonany pod jego kierunkiem.

W krakowskiej AGH od 2010 r. działa chyba pierwsze w Polsce nowoczesne laboratorium bioniki. Mają w nim zajęcia studenci Wydziału Automatyki i Robotyki oraz Bioinżynierii. Rocznie ok. 130 osób zalicza przedmiot. *Zaliczenie polega na obserwacji wybranych organizmów, odnalezieniu wzorca i jego syntezie - i na tej podstawie samodzielnym zaprojektowaniu innowacyjnego rozwiązania technicznego. Powstają w ten sposób niezwykle koncepcje maszyn realizujących wybrane funkcje zwierząt lub roślin. Niektóre projekty nadają się do opatentowania. Nie są raczej wdrażane, ponieważ Polska jest krajem o zbyt małym potencjale technicznym, aby inwestować w tego rodzaju nowatorskie konstrukcje techniczne, związane oczywiście z dużym ryzykiem finansowym* - wyjaśnia profesor. *"Nie jesteśmy władcami przyrody, jesteśmy jej skromnymi uczniami, natura jest naszym mistrzem. Jeśli nasz gatunek*

⁹² W tym przypadku chitosanu - polisacharydu chityny, który jest drugim najczęściej występującym polimerem na Ziemi.

*ma się rozwijać i pozostać na planecie, to musi uwzględnić, że jest jednym z elementów w jej systemie*⁹³ – podkreślał Samek.

Profesor Samek w swojej pracy naukowej [7] podejmuje próbę hierarchizacji i sklasyfikowania bioniki opisując trzy systemy podziału.

System nr 1 (podział wg dziedziny):

- **Bionika ogólna:** jej zadaniem jest prowadzenie badań w dziedzinie biologii, poznawcze badanie organizmów ze zwróceniem uwagi na zawarte w systemach struktury i procesy, które mogą mieć znaczenie dla rozwiązywania zagadnień technicznych: konstrukcyjnych i technologicznych.
- **Bionika systematyczna:** jej zadaniem jest systematyzacja wyników badań w sposób umożliwiający porównywanie cech rozwojowych organizmów i odpowiadający potrzebom praktycznym. Opracowane w sposób systematyczny informacje o strukturach i procesach, mogą być wykorzystane w procesach technicznych. W związku z tym bionikę systematyczną można podzielić bardziej szczegółowo na:
 - bionikę struktur, zajmującą się wykorzystaniem wiedzy na temat form biologicznych monostruktur, kształtów zewnętrznych organizmów, a także mikrostruktur, badaniem struktur komórkowych, tkanek i struktur różnych narządów na potrzeby celów przemysłu i architektury.
 - bionikę receptorów, zajmującą się wykorzystaniem wiedzy o wysyłaniu, przetwarzaniu i odbiorze informacji przez organizmy i zastosowaniem jej w celach technicznych,
 - bionikę informatyczną, zajmującą się zastosowaniem na potrzeby techniki wiedzy na temat odbioru, przetwarzania, magazynowania i przekazywania informacji przez organizmy
 - bionikę energetyczną, zajmującą się przemianami energii przez organizmy w celu opracowania analogicznych rozwiązań w technice
- **Bionika stosowana:** jej zadaniem jest opracowanie na podstawie struktur, procesów i ich funkcjonalnych związków modeli i prototypów rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych.

System 2 (podział ze względu na charakter prowadzonych badań):

- **Bionika abstrakcyjna** (bottom-up process): w której badania bioniczne prowadzone są w zasadzie w celach poznawczych. Badacze nie wiedzą początkowo, dokąd wyniki ich badań mogą doprowadzić. Ważne jest tylko poznanie i opisanie zasad stanowiących przedmiot badań. Gdy zasady zostaną poznane, można rozpocząć rozeznanie, w jakich obszarach nauki mogłyby one znaleźć zastosowanie. Dzięki doświadczeniom w różnorodnych dziedzinach techniki mogą być one przekształcone w innowacyjną koncepcję.
- **Bionika analogii** (top-down process): w której badania bioniczne prowadzone są w ściśle określonym celu, a podstawowym zadaniem jest wyszukanie analogii. Znalezione wzorce są analizowane z myślą o znalezieniu rozwiązania problemu.

⁹³ <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C394742%2Cprof-samek-w-polskich-uczelniach-rzadko-pojawia-sie-bionika.html>

System 3 (podział ze względu na stopień analogii pomiędzy wzorcem a rozwiązaniem technicznym) w którym wyróżniono pięć kategorii:

- **Pełne naśladownictwo** – obiekt techniczny pod względem strukturalnym, materiałowym i funkcjonalnym nie różni się od wzorca zaczerpniętego z przyrody. Praktycznie nie jest to możliwe do zastosowania. Takie były, zresztą nieskuteczne, pierwsze próby budowy aparatów latających.
- **Naśladownictwo częściowe** – obiekt techniczny jest modyfikacją zaczerpniętego z przyrody rozwiązania. Przykładem może być sztuczne drewno.
- **Analogia** pomiędzy obiektem naturalnym a technicznym nie jest strukturalna, ale funkcjonalna – jedna z podstawowych zasad przekształcania wzorca zaczerpniętego z przyrody w rozwiązanie techniczne
- **Wykorzystanie** wyodrębnionej struktury jako rozwiązania abstrakcyjnego. Przykładem może być zastosowanie włókien wzmacniających w materiałach wielowarstwowych.
- **Inspiracja** rozwiązaniami przyrodniczymi w niezależnej działalności twórczej. Przykładem są liczne rozwiązania w architekturze i budownictwie.

Profesor Samek jest autorem bodajże jedynej na krajowym rynku wydawniczym książki poruszającej zagadnienia nauczania biomimetyki w ramach studiów inżynierskich [7]. W rozdziale 2 (str. 19-31) zatytułowanym „Poszukiwanie i analiza wzorca, budowa modelu” buduje algorytm, który dla budowy maszyn (funkcji ruchu, funkcji stanu, materiału, struktury systemu oraz kształtu zewnętrznego (korpusu) pozwala wskazać stopnie analogii pomiędzy systemem technicznym i organizmem:

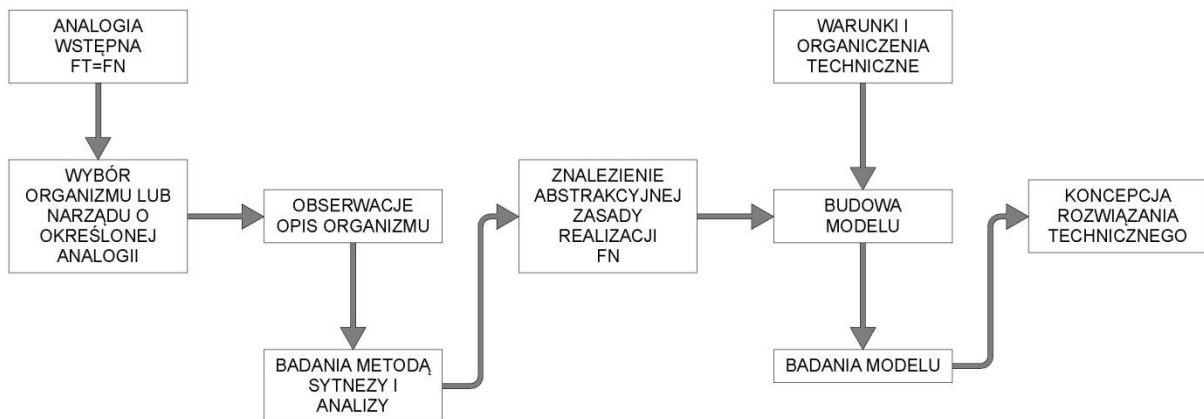
Rodzaj analogii				Stopień analogii
FMT≈FMN	FST≈FSN	ST≈SN	KT≈KN	Tożsamość systemów
FMT≈FMN	FST≈FSN	ST≠SN	KT≠KN	Wysoki stopień analogii
FMT≈FMN	FST≠FSN	ST≈SN	KT≈KN	Wysoki stopień analogii ze względu na FM
FMT≠FMN	FST≈FSN	ST≈SN	KT≈KN	Wysoki stopień analogii ze względu na FS
FMT≈FMN	FST≠FSN	ST≠SN	KT≠KN	Niski stopień analogii
FMT≠FMN	FST≈FSN	ST≠SN	KT≠KN	Niski stopień analogii
FMT≠FMN	FST≠FSN	ST≈SN	KT≈KN	Niski stopień analogii
FMT≠FMN	FST≠FSN	ST≠SN	KT≠KN	Brak analogii

gdzie:

FMT: oznacza funkcję ruchu w systemie technicznym
 FMN: oznacza funkcję ruchu w systemie naturalnym
 FST: oznacza funkcję stanu w systemie technicznym
 FSN: oznacza funkcję stanu w systemie naturalnym
 ST: strukturę systemu technicznego
 SN: strukturę systemu naturalnego
 KT: kształt zewnętrzny (korpus) systemu technicznego
 KN: kształt zewnętrzny (korpus) systemu naturalnego

Tab. 2: Różne stopnie analogii pomiędzy systemem technicznym a organizmem.

Przedstawia też metodologię projektowania inżynierskiego przy użyciu biomimetyki.



rys. 1: Analiza wzorca, określenie zasady jego działania i budowa modelu.

Znaczący w analizie badań prof. Samka jest fakt, iż podstawowym elementem stanowiącym punkt wyjścia do dalszych działań jest funkcja badanego obiektu, co zauważyć można zarówno w zaprezentowanej tabeli nr 2 oraz rys. 1. Profesor Samek podkreślał jednocześnie konieczność poszerzenia wiedzy przyrodniczej jako niezbędnej do prawidłowych analiz prowadzonych przez inżynierów – biomimetyków.

3.3.3. Metodologia projektowania biomimetycznego wg prof. Adama Ruszaja.

Adam Ruszaj jest profesorem, doktorem habilitowanym w dziedzinie inżynierii prowadzącym swoje badania w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. W swoim artykule [9] opisuje opracowaną przez siebie metodę inspirowanego bionicznie projektowania. Etapy projektowania bionicznego opracowane przez prof. Ruszaja to odpowiednio:

1. *Sformułowanie celu technicznego.*
2. *Analiza struktur biologicznych (teoria podobieństwa, metody oparte na logice rozmytej) w celu wyboru i wstępnej ocenie praktycznej przydatności modelu biologicznego.*
3. *Modelowanie matematyczne wybranych struktur modelu biologicznego służące określeniu charakterystyk obiektu technicznego wytworzonego w oparciu o model bioniczny (sztywności, wytrzymałości, rozkładu odkształceń i naprężeń, charakterystyk dynamicznych - drgań). Przydatna jest tu metoda elementów skończonych (finite elements method - FEM).*
4. *Zaprojektowanie modelu do badań doświadczalnych na podstawie wyników modelowania matematycznego. Wytwarza się go tradycyjnymi metodami: NC i CNC, odlewa; coraz częściej stosuje się też metody przyrostowe. Modele dużych elementów wykonuje się w odpowiedniej skali (np. 1:4 czy 1:6).*
5. *Ocena zmniejszenia masy, zwiększenia sztywności, wytrzymałości, wielkości odkształceń, charakterystyk dynamicznych (drgań) na podstawie wszechstronnych badań modelu i uogólnienia uzyskanych wyników na rzeczywisty obiekt.*
6. *Ocena stopnia realizacji celu technicznego. Jeżeli jest ona pozytywna, to zostaje wykonany prototyp funkcjonalny; jeżeli cel nie zostaje osiągnięty, wówczas można powtórzyć działania (skorygować) od słabego punktu (1-5)⁹⁴.*

⁹⁴ Adam Ruszaj: *Bioinspiracje w projektowaniu konstrukcji lekkich* DOI: 10.17814/mechanik.2016.2.9

Profesor podkreśla, że w całym cyklu badań niezwykle ważnym narzędziem jest intuicja.⁹⁵ Widać więc tutaj zbieżność z poglądami Rossa Lovergrove'a dotyczącymi źródeł biomimetycznych inspiracji. Artykuł zaprezentowany przez profesora Ruszaja obrazuje moim zdaniem stricte inżynierskie podejście do projektowania biomimetycznego. Profesor prezentuje kolejne przykłady konstrukcji bionicznych, których zastosowanie ma na celu zoptymalizowania ilości zużywanego materiału przy zachowaniu lub poprawieniu parametrów konstrukcyjnych projektowanego elementu. Przykładem jest tu cienkościenny cylinder, którego budowa celem optymalizacji inspirowana może być - przy zachowaniu założenia obciążenia osiowego wzdłuż osi podłużnej - przekrojem np. sitowia lub bambusa. Pominięty zostaje w artykule aspekt funkcjonalny inspiracji biologicznych oraz analiza możliwości zmian materiałowych zgodnie z ideą *cradle to cradle*. W podsumowaniu, Profesor Ruszaj zaznacza jednak konieczność współdziałania podczas prac projektowych związanych z projektowaniem biomimetycznym z zespołem biologów. Profesor zauważa również rolę modelowania w projektowaniu struktur bionicznych (jak i prawdopodobnie biomorficznych). W projektowaniu biomimetycznym jest to jedyna droga zbadania m.in. rozkładu obciążeń, naprężeń, wytrzymałości materiału z uwagi na fakt, iż przy skomplikowanych strukturach metody obliczeniowe mogą być w tym przypadku niewystarczające.

3.3.4. Julian Vincent – biomimetyka wspomagana komputerowo.

Urodzony 19 stycznia 1943 roku w Londynie prof. Julian Vincent jest specjalistą w dziedzinie biomimetyki. Jest absolwentem nauk przyrodniczych w dziedzinie zoologii. Ukończył studia pierwszego stopnia na Uniwersytecie w Cambridge, drugiego i trzeciego natomiast na Uniwersytecie w Sheffield. W 1968 roku rozpoczął karierę na University of Reading w Wielkiej Brytanii jako zoolog. W 2000 roku został zaproszony na University of Bath w Wielkiej Brytanii jako profesor inżynierii mechanicznej, gdzie obecnie jest profesorem biomimetyki. Był do 2010r. wykładowcą w Royal College of Art & Design i Imperial College London. Pracował w wielu interdyscyplinarnych kontekstach, takich jak inżynieria mechaniczna, materiałoznawstwo, architektura, projektowanie, biologia czy materiałoznawstwo. Jest członkiem wielu rad naukowych i doradczych. Współtworzył Ośrodki Biomimetyki w Reading i Bath oraz jest prezesem Międzynarodowego Towarzystwa Inżynierii Bionicznej. Jest starszym współpracownikiem naukowym w Instytucie Zoologii na Uniwersytecie Oksfordzkim, Honorowym Profesorem w Hochschule Rhein-Waal w Niemczech i adiunktem inżynierii i materiałów na Clemson University (USA) [s15].

Profesor Vincent jest autorem wielu artykułów naukowych z dziedziny biomimetyki i cenionym ekspertem. Na szczególną uwagę zasługuje jednak jego praca dot. komputerowego wspomagania biomimetyki [22, 31]. System CAB (ang.: *Computer Aided Biomimetics*) jest narzędziem, którego podstawowym celem jest wspieranie integracji odpowiedniego zakresu wiedzy z dziedziny biologii w procesie biomimetycznego rozwiązywania problemów, w tym inżynierskich. Kluczowe jest tutaj zastosowanie opracowanego algorytmu skupiającego identyfikację, selekcję i wyabstrahowanie odpowiedniej biologicznej analogii z uwagi na fakt, iż zdaniem profesora Vincenta funkcje inżynierii nie odpowiadają funkcjom biologicznym i dlatego też statyczne, funkcjonalne podejście prowadzi do niekompletnego zrozumienia procesu biologicznego, który jest dynamiczny, cykliczny i samoorganizujący się. Kluczem do opracowanego przez profesora Vincenta systemu są tzw. *trade-offs* czyli sytuacje, w których analizie poddawany jest kontekst środowiskowy danego procesu biologicznego zgodnie z zasadą, iż w świecie natury elementy, funkcje i procesy ulegają permanentnej wymianie tak, aby system jako całość pozostał stabilny.

⁹⁵ Adam Ruszaj: *Bioinspiracje w projektowaniu konstrukcji lekkich* DOI: 10.17814/mechanik.2016.2.9

W nawiązaniu do definicji biomimetyki opracowanej przez dra Pierre`a Emmanuela Fayemiego⁹⁶ jako interdyscyplinarnego, kreatywnego procesu pomiędzy biologią i technologią, który ma na celu rozwiązanie technologicznych problemów poprzez wyabstrahowanie, transfer i aplikację wiedzy pozyskanej z modeli biologicznych, profesor Vincent określa podstawowe wymagania do zastosowania systemu CAB:

- Unikanie uprzedzeń wobec terminologii inżynierskiej i funkcji inżynierskich, aby zachować informacje kontekstowe, które są obecne w terminologii biologicznej.
- Wyciąganie uporządkowanych, wewnętrznych informacji z prac badawczych z biologii, aby umożliwić ich wiarygodne wyszukiwanie.
- Unikanie automatycznego mapowania między domenami biologicznymi i inżynierskimi, biorąc pod uwagę odległość semantyczną między tymi domenami.
- Wspieranie bezpośrednio i pośrednio wykorzystania różnych teoretycznych modeli biomimetycznych w celu przedstawienia informacji zawartych w tekstach biologicznych.

Zasadą działania CAB (Biomimetyki Wspomaganej Komputerowo) jest wyszukiwanie analogii funkcjonalnych do zadanego zapytania w naukowych tekstach źródłowych. Profesor Vincent zwraca jednak uwagę, na konieczność właściwego zbudowania algorytmu wyszukiwania, w związku z faktem, iż rola funkcji w biomimetyce jest nie zawsze usprawiedliwiona i właściwa, szczególnie podczas automatycznej identyfikacji relewantnych tekstów biologicznych. Profesor definiuje podstawowe problemy i ograniczenia budowanego systemu:

- *Findability* (pol.: wyszukiwanie): Poszukiwanie za pomocą słów kluczowych może być niejasne, w momencie, w którym projektant niejasno określi informację, której potrzebuje. Prawdopodobną odpowiedzią na zapytanie w tym przypadku będzie ekstremalnie duża ilość odpowiedzi lub brak odpowiedzi w ogóle. W pierwszym przypadku duża ilość informacji musi zostać przeszukana, w drugim natomiast zapytanie będzie redefiniowane wielokrotnie.
- *Recognizability* (pol.: rozpoznawalność): Problem w odszukaniu odpowiedniego źródła informacji może być spowodowany niewystarczającą wiedzą z zakresu biologii. Podstawowa forma identyfikacji jest w tym przypadku zbudowana na semantycznej zbieżności, ale strukturalne i pragmatyczne podobieństwo zostaje zaniechane. W związku z tym, czas zostaje zmarnowany na analizie nieodpowiednich źródeł informacji i tym samym, odpowiednie źródła mogą zostać pominięte.
- *Understandability* (pol.: zrozumienie): Projektanci nie zawsze są zaznajomieni z domeną pozyskiwania i analizy źródeł informacji. W związku z powyższym, koszt wypromowania potencjału modeli biologicznych jest wysoki.

W odniesieniu do działającego systemu AskNature.org⁹⁷, profesor Vincent zauważa, że jego działanie, oparte w większości na subiektywnej ocenie przydatności oraz zbudowane w zasadzie bez analizy kontekstu działania form biologicznych zwiększa czas poszukiwania i wymaga zwiększonego wysiłku celem wyabstrahowania przydatnej w procesie projektowania funkcji. Odnotowuje potrzebę zbudowania mierzalnych metod i algorytmu wspomagającego inżynierów - biomimetyków, którzy w większości nie posiadają wystarczającej do przeprowadzenia wspomnianej abstrakcji wiedzy biologicznej. Odpowiedzią na to zapotrzebowanie jest w istocie CAB, czyli biomimetyka wspomagana komputerowo, która za pomocą zbudowanego algorytmu jest w stanie przeszukać bazę danych wskazując możliwe

⁹⁶ Pierre-Emmanuel Fayemi / PhD / Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers / Paris / France

⁹⁷ AskNature.org został opisany w rozdziale 3.4.1 niniejszej pracy.

dokładnie pole poszukiwań zadanych funkcji. Funkcja więc - zdaniem profesora Vincenta - jest podstawowym kluczem oraz bazą dla słów kluczowych, która rozwiązywać ma opisane powyżej problemy - *findability*, *recognizability* i *understandability*. Wyszukiwanie słów kluczowych na zasadzie analogii funkcjonalnych ma wypełnić lingwistyczne różnice pomiędzy obiema naukami - biologią oraz inżynierią. Znaczenie ma w tym przypadku również charakterystyka środowiska przedmiotu badań (organizmu) celem pełnego zrozumienia jego działania również w związku z tzw. *trade-offs*, czyli elementami, dzięki którym dany organizm przystosował się do życia w zadanym środowisku. Zdaniem profesora Vincenta pełni to kluczową rolę w zrozumieniu funkcji organizmu gdyż biologiczne systemy działają na zasadzie optymalizacji i kompromisu. Za przykład może posłużyć tutaj pęcherz pławny ryba, który jednocześnie zapewnia odpowiednią wyporność, jest strukturą komórkową, dzięki której wyporność ta może być regulowana ale jednocześnie w niektórych przypadkach służy jako organ pozwalający wysyłać i odbierać dźwięki. Czasem też pełni funkcję jednego z organów układu oddechowego. Notabene płuca kręgowców powstały z parzystego pęcherza pławnego. Zrozumienie więc roli badanego systemu w kontekście jego działania ułatwia wyabstrahowanie przydatnej dla dziedziny inżynierii informacji.

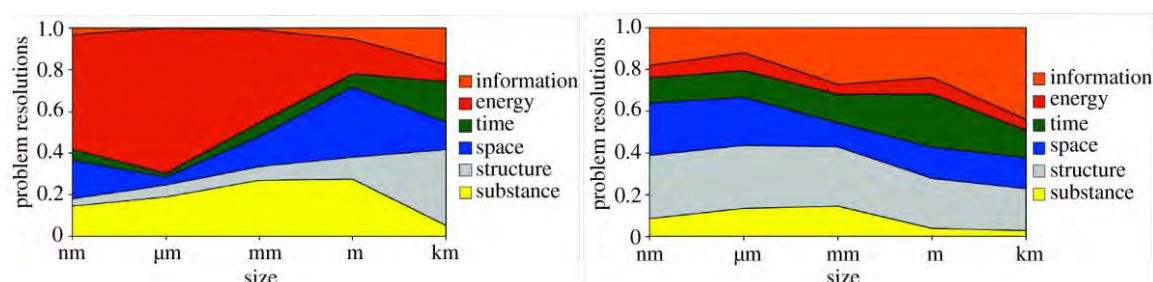
Profesor wskazuje zatem trzy elementy mające przeciwdziałać zaobserwowanym problemom związanym z próbami wyabstrahowania wiedzy biologicznej:

- funkcja używana jako słowa kluczowe jako narzędzie do wyszukiwania,
- analiza funkcjonalna jako narzędzie dla rozpoznawalności,
- modelowanie naturalnych systemów jako narzędzie dla zrozumienia.

Prezentując holistyczne podejście do biomimetyki [33], profesor Vincent wskazuje cztery etapy działania, które odnieść można do zaprezentowanych przez Janine Benyus z Biomimicry Institute:

1. Zdefiniowanie problemu inżynierskiego przy jednoczesnej definicji funkcji współistniejących czy też kontekstualnych (*trade-offs*), jak na przykład szybkość i jednocześnie dokładność działania.
2. Wsparcie uprzednio dokonanej selekcji funkcji współistniejących dostępnymi materiałami źródłowymi tak, aby maksymalnie szeroko zdefiniować działanie danego systemu.
3. Wyabstrahowanie wiedzy przy użyciu narzędzi CAB (pozwalającym na przeszukanie bazy danych przy użyciu funkcji jako słowa kluczowego). Funkcja reprezentowana będzie tutaj przez użycie do wyszukiwania czasowników.
4. Transpozycja i implementacja zdobytej wiedzy w domenie inżynierii.

Istotny jest tutaj fakt, że opracowany przez Juliana Vincenta system i narzędzie (CAB) jest możliwy do zastosowania we wszystkich polach inżynierii poczynając od automatyki i robotyki, a na architekturze kończąc.



rys. 2: Zapotrzebowanie na zasoby (informację, energię, czas, przestrzeń, strukturę, substancję) względem skali działania (nm – km) w dziedzinie technologii (rysunek po lewej stronie) oraz natury (rysunek po prawej stronie).

Ponad czterdziestoletnia działalność profesora Juliana Vincenta w polu biomimetyki w służbie inżynierii zasługuje na odrębną pracę naukową. Twierdzi on, że aktualnie jesteśmy w stanie naśladować około 10% zaobserwowanych w środowisku naturalnym funkcji. Podsumowując część niniejszej pracy Jemu poświęconą posłużę się cytatem z profesora Vincenta obrazującym zaobserwowaną przez niego trudność w interpretacji i implementacji funkcji biologicznych w domenie inżynierii: *Jedną z podstawowych cech żywych systemów jest autonomia lub niezależności działania, z pewną dozą chaotyczności bezpośrednio związaną ze złożonością żywego systemu. Daje to żywym systemom dużą zdolność adaptacji i wszechstronność, ale kosztem przewidywalności zachowania systemu przez zewnętrznego obserwatora. Ogólnie rzecz biorąc, nie akceptujemy nieprzewidywalności w systemach technicznych, w istocie tego unikamy.*⁹⁸

3.3. Biomimicry Institute i Janine Benyus – usługi consultingowe a biomimetyka.

Biomimicry Institute jest stowarzyszeniem non-profit założonym w 2006r. w mieście Missoula (Montana, USA) przez Janine Benyus i Bryony Schwan. Janine Benyus jest biologką, konsultantką innowacji z zakresu biomimetyki oraz autorką sześciu książek na jej temat [5]. Założycielom Biomimicry Institute przyświeca wizja świata ludzi, w którym natura nie jest postrzegana jako magazyn zasobów, ale przechowalnia wiedzy i inspiracji dla zrównoważonych rozwiązań projektowych. Biomimicry Institute umożliwia tworzenie inspirowanych przyrodą rozwiązań dla zdrowej planety. W ramach większego obszaru biomimetyki Instytut ma trzy podstawowe cele:

1. Zwiększenie dostępu do wysokiej jakości materiałów i usług w zakresie uczenia się, nauczania i uprawiania biomimetyki.
2. Rozwijanie biegłości i praktyki innowatorów nowej generacji, tak aby mieli oni orientację, umiejętności i wsparcie niezbędne do korzystania z biomimetyki w celu sprostania nagłym wyzwaniom związanym ze zrównoważonym rozwojem.
3. Zmiana kultury projektowania, aby biomimetyka była szeroko rozpoznawana i wykorzystywana jako narzędzie do wspierania zrównoważonych innowacji.

Instytut prowadzi cztery główne programy pozwalające zdaniem założycieli na realizację opisanych celów:

Biomimicry Youth Design Challenge (YDC) to praktyczne, oparte na projektach "doświadczenie edukacyjne", które zapewnia klasie i nieformalnym edukatorom atrakcyjne ramy do wprowadzania inspirowanych biologią projektów i interdyscyplinarnej wiedzy na temat nauki, inżynierii i wiedzy o środowisku. Daje to uczniom szkół średnich i gimnazjalnych wyjątkowe doświadczenie STEM czyli interdyscyplinarnego programu edukacyjnego polegającego na połączeniu zajęć dotyczących science - nauki, technology - technologii, engineering - inżynierii i mathematics - matematyki i umożliwiającego wdrażanie rozwiązań dla wyzwań społecznych i środowiskowych wynikających ze zmian klimatu.

The Biomimicry Global Design Challenge (BGDC) to roczny program, który daje uniwersytetom i specjalistom możliwość uczenia się biomimetyki, jednocześnie stosując ją do tworzenia rozwiązań dotyczących zmian klimatu. Niezależnie od tego, czy emuluje funkcje ściółki z liści, aby wspierać opłacalne ponowne zalesianie, czy opracować technologię chłodzenia bez elektryczności, zespoły projektantów opracowują skuteczne rozwiązania z natury oparte na zrównoważeniu środowiskowym. Uczestnicy mają dostęp do szkoleń, mentoringu i zasobów,

⁹⁸ Julian F. V. Vincent i in.: *Towards a Design Process for Computer-Aided Biomimetics*

takich jak Toolbox i AskNature. Finaliści są zaproszeni do wzięcia udziału w Launchpad Biomimicry, aby uzyskać wsparcie w celu wprowadzenia ich projektu na rynek.

The Biomimicry Launchpad to jedyny na świecie program akceleracyjny, który wspiera początkujących przedsiębiorców, którzy wprowadzają na rynek innowacje inspirowane naturą. Launchpad zapewnia przedsiębiorcom i osobom odpowiedzialnym za zmiany, zasoby niezbędne do uruchomienia i rozwoju udanych przedsiębiorstw biomimikrycznych, przyspieszenia rozwoju i komercjalizacji innowacji w dziedzinie biomimikry oraz pomaga w stworzeniu nowej generacji przedsiębiorstw zajmujących się zrównoważonym rozwojem. Każdego roku zespoły Launchpad mogą konkurować o nagrodę Ray of Hope Prize® o wartości 100 000\$ sponsorowaną przez Fundację Ray C. Andersona.

AskNature jest najbardziej dostępnym i wszechstronnym mostem internetowym do rozwiązań natury dla profesjonalistów, studentów i edukatorów zajmujących się innowacjami. Uruchomiona w 2008 roku bezpłatna usługa zawiera prawie 1700 artykułów opisujących, w jaki sposób żywe systemy przystosowały się do rozkwitu wśród niezliczonych warunków i wyzwań. Zawiera również katalog inspirowanych biologią wynalazków i projektów badawczych oraz bibliotekę zasobów dla osób uczących się i uczących projektowania inspirowanego biologią. Każdego roku ponad pół miliona osób odwiedza AskNature, aby prowadzić badania, uczyć biomimetyki i inspirować innowacje [s16]. Platforma AskNature została szczegółowo opisana w pkt. 4.11.

Celem zapewnienia finansowania Instytutu, Janine Benyus założyła w 1998r. firmę konsultacyjną z obszaru biomimetyki i zrównoważonego projektowania - Biomimicry 3.8, której klientami są m.in. Boeing, Colgate-Palmolive, Nike, General Electric, Herman Miller, HOK Architects, Procter and Gamble i inni. Biomimicry Institute posiada 36 regionalnych filii w 21 krajach, gdzie zatrudnionych jest 12 576 osób. Umożliwia też założenie własnej filii pod egidą Instytutu.



fol. 34: Biomimicry design spiral.

Biomimicry Guild opracowała wytyczne do projektowania biomimetycznego, które zobrazowane zostały powyżej (fol. 34). Przedstawiono pięć kolejnych kroków projektowania, które można odnieść do opisanych powyżej m.in. przez prof. Adama Ruszaja oraz prof. Andrzeja Samka:

1. **Destylacja** (ang.: *DISTILL*) funkcji. Istotne jest tutaj (jak zaznaczają autorzy wytycznych) pytanie: „Co chcesz, aby Twój projekt robił?” nie zaś: „Co chcesz zaprojektować?”.
2. **Tłumaczenie** (ang.: *TRANSLATE*) funkcji na język biologii. Poszukiwanie biologicznego, naturalnego wzorca wydestylowanej uprzednio funkcji, do czego doskonałym narzędziem jest notabene system CAB autorstwa prof. Juliana Vincenta.
3. **Odkrycie** (ang.: *DISCOVER*) naturalnego modelu i stworzenie taksonomii strategii życiowych.
4. **Emulacja** (ang.: *EMULATE*) działania wybranego organizmu, systemu lub strategii.
5. **Ewaluacja** (ang.: *EVALUATE*) wybranego organizmu, systemu lub strategii poprzez kolejne oceny. Czy projekt jest możliwy do adaptacji i podaje się ewolucji? Czy projekt tworzy warunki zbliżone do naturalnych? Jak można usprawnić projekt?

Janine Banyus w swojej pracy naukowej sformułowała kilka spostrzeżeń, które stanowią punkt wyjścia do biomimetycznego projektowania architektonicznego. Zdaniem Banyus [5], organizmy w naturalnych ekosystemach:

- używają odpadów jako zasobów,
- są zróżnicowane i kooperują tak, aby w pełni wykorzystały swój habitat,
- wysokowydajnie pozyskują i zużywają energię,
- optymalizują bardziej niż maksymalizują,
- oszczędnie korzystają z materiałów,
- nie zanieczyszczają swoich siedlisk i ekosystemów,
- nie niszczą zasobów,
- utrzymują balans w swojej biosferze,
- zasoby pozyskują lokalnie,
- pozyskują energię ze słońca,
- pozyskują tyle i tylko tyle energii ile potrzebują,
- dopasowują swoją formę do funkcji,
- są lokalnie wyspecjalizowane.

3.3.1. Asknature.org

AskNature.org jest platformą internetową opracowaną przez Biomimicry Institute (pkt. 4.5). Zasadą działania platformy są hasłowe zapytania wpisywane w wyszukiwarce na głównej stronie dot. poszukiwanego działania natury do implementacji w opracowywanym projekcie. Baza danych odpowiedzi jest stale uzupełniana i uaktualniana. Została ona podzielona na cztery kategorie, w których możliwe jest poszukiwanie inspiracji lub odpowiedzi na zadane zapytanie:

1. **Biological strategies:** rozwiązania występujące w świecie natury stanowiące odpowiedź na zadane zapytanie.
2. **Inspired ideas:** gotowe rozwiązania projektowanie oraz projekty badawcze inspirowane zjawiskami zachodzącymi w naturze.
3. **Resources:** opracowania naukowe, przygotowane zajęcia oraz lekcje do nauczania i prowadzenia zajęć z dziedziny biomimetyki.
4. **Collections:** grupy rozwiązań (biological strategies) pozwalające sprecyzować zapytanie.



fol. 35: Wyszukiwarka naturalnych wzorców: <https://asknature.org/>

3.3.2. Biomimicry 3.8

Biomimicry 3.8 to wiodąca światowa firma konsultingowa oferująca doradztwo w zakresie biomimetycznych innowacji, szkoleń zawodowych i inspiracji. Nazwa Biomimicry 3.8 pochodzi od cezury czasowej względem której życie na Ziemi rozwija się od ok. 3.8 miliarda lat.

Założyciele i pracownicy Biomimicry 3.8 działają na całym świecie, pomagając innym w korzystaniu z innowacji biomimetycznych. Korzystają z praktyki biomimikry, aby pomóc innowatorom znaleźć inspirujące rozwiązania projektowe. Szkolą profesjonalistów, aby byli kolejną generacją inżynierów - biomimetyków. Dzielą się odkrytymi przez siebie sposobami, w jaki natura rozwiązuje ludzkie problemy na całym świecie. Dzięki łącznym stuletnim stypendiom, badaniom, pracy pisarskiej i wydawniczej, konsultingowi i nauczaniu, założyciele i pracownicy Biomimicry 3.8 twierdzą, że posiadają *unikalny związek z geniuszem natury*.

*Kiedy zaczniemy postrzegać Ziemię i jej różnorodność biologiczną jako modele i mentorów, będziemy mieli odpowiednią motywację i właściwą perspektywę, aby się dopasować - aby przetrwać i dobrze się rozwijać.*⁹⁹

Szacuje się, że do 2030 r. produkty i usługi inspirowane biologią wygenerują 1,6 biliona USD globalnego PKB. Uzyskując dostęp do potężnej inteligencji osadzonej w 3,8 miliarda lat ewolucji, Biomimicry 3.8 współpracuje z zespołami ds. innowacji i osobami w ponad 250 firmach w ponad 25 branżach, aby osiągnąć przewagę konkurencyjną dzięki biomimetyce.

3.4. Dennis Dollens - biomimetyka systemów autopojetycznych.

System autopojetyczny (od gr.: *auto*: samo i *poiesis*: wytwarzanie) to system samowytwarzający się, powstający i odtwarzający się tylko z użyciem własnych elementów. Reprodukuje (na przykład rozmnaża) się on poprzez rekonstrukcję samego siebie w reakcji na bodźce zmieniającego się środowiska. Autopojeza więc to zdolność do samotworzenia i samoodtworzenia się, która umożliwi przetrwanie systemu oraz jego dalsze istnienie i rozwój. Pojęcie to zastosowali na początku lat 70. XX wieku dwaj chilijscy biolodzy, Humberto Maturana i Francisco Varela, do opisanie istot żywych jako systemów rozpropagował je na gruncie nauk społecznych (szczególnie socjologii) Niklas Luhmann. Pojęcie to wprowadzono w ramach poszukiwań odpowiedzi na pytania o istotę życia jako zjawiska, w tym dotyczące biogenezy i

⁹⁹ Dr Dayna Baumeister, współzałożycielka Biomimicry 3.8.

ewolucji zasad samoorganizacji biologicznych systemów złożonych (organizmów, biocenozy, ekosystemów) [s17].

Propagatorem systemów autopojetycznych w biomimetyce - w tym architektonicznym projektowaniu inspirowanym naturą - jest Dennis Dollens. Dollens opracował generatywną teorię dla bio-inteligentnej architektury, którą nazywa rozszerzonym autopojetycznym systemem operacyjnym (EAOS). Jest to teoretyczny i praktyczny system badań projektowych oparty na teorii biologicznej łączącej autopojezę, rozszerzone funkcje poznawcze i rozszerzone fenotypy do zastosowania w obliczeniach, symulacjach, poszukiwaniu form i badaniach systemowych w celu pozyskiwania danych z natury za pomocą mikroskopów skaningowych i skanowania TK (tu: tomografii komputerowej). Dollens mieszka w Santa Fe w Nowym Meksyku i Barcelonie w Hiszpanii, gdzie wykłada w programie BioDigital Architectures w szkole architektury (ESARQ), Universitat Internacional de Catalunya.

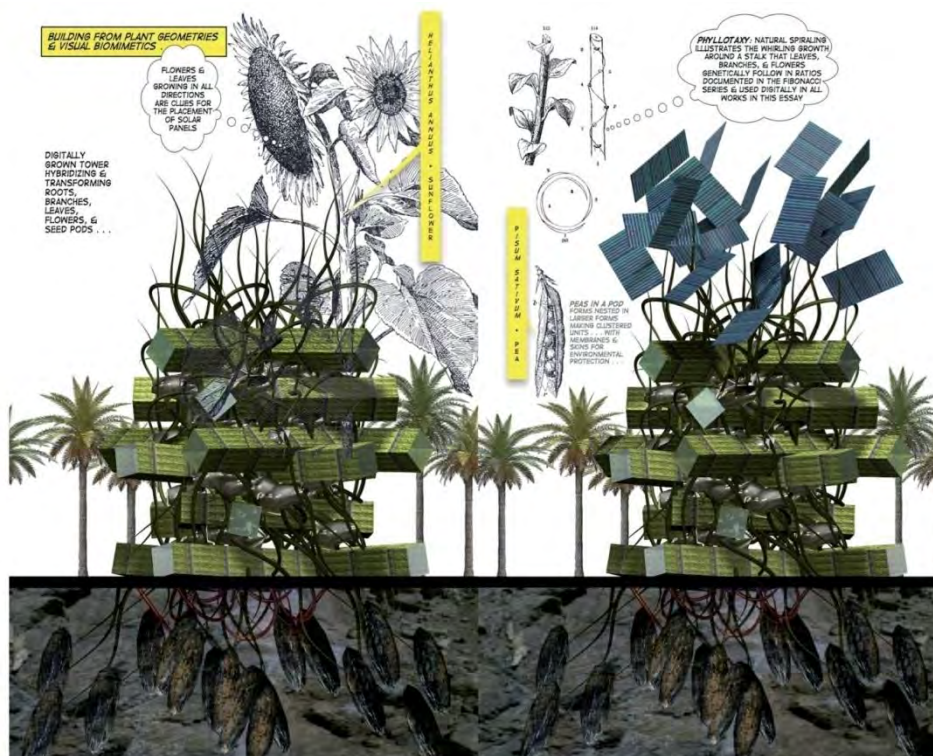
Dennis Dollens prowadzi badania nad teorią architektury i zastosowaniem biomimetyki i sztucznej inteligencji (AI – *artificial intelligence*) w projektowaniu architektury eksperymentalnej. Poszukuje on w tym kontekście odpowiedzi na pytanie dotyczące inteligentnych budynków (*Can buildings think? – Czy budynki potrafią myśleć?* co odnosi do pytania: *Can machines think?, czyli Czy maszyny potrafią myśleć?*) Przytacza w swoim artykule [23] fakt, iż Alan Turing podczas dekodowania Enigmy (notabene wykorzystując uprzednią pracę polskich kryptologów) nie był w stanie samodzielnie dokonać obliczeń. Konieczne było zbudowanie maszyny dekodującej, która wykonała pracę zbliżoną do pracy aktualnie montowanych procesorów komputerowych. Jeżeli więc to maszyna dokonała deszyfrowania Enigmy – kto w tym przypadku wykonał proces myślowy? – pyta Dollens. Alan Turing, czy zbudowana przez niego maszyna? Jeżeli więc uświadomimy sobie, iż coraz więcej procesorów, które dotychczas obsługiwał człowiek zostaje przekazanych maszynom, które są w stanie procesować duże ilości danych tak, aby zminimalizować ewentualny błąd, to jest to prosta droga do stworzenia sztucznej inteligencji. Tematem niniejszej pracy nie jest filozoficzna rozprawa nad tym tematem, jeżeli jednak do puli możliwości jakie daje projektowanie parametryczne i analiza dużej ilości danych dodamy możliwości genetycznej modyfikacji (np. roślin) – umiejętność, którą ludzkość posiadała jeszcze w latach 70-tych ubiegłego wieku, sądzę, że zbliżamy się tutaj do granic biomimetyki. Natura przestaje być naśladowana (*mimesis*), a zaczyna być kreowana przy użyciu genetycznej modyfikacji jej DNA i RNA.



fol. 36: Ewolucja eDrzewa: Generatywny rozwój dziewięciu generowanych przez oprogramowanie STL eTrees (eDrzew) modelowanych jako struktury kratownicowe, których gałęzie rosną, zaginając się z powrotem w pnie. W ostatnich czterech obrazach po prawej stronie pnie drzew zostały wyewoluowane ze struktury, pozostawiając tylko powiązane struktury działów. W ostatnim eTree węzły kwiatowe zostały wyrażone jako strąki i pudełka.

Dennis Dollens przy użyciu mechnizmów architektury parametrycznej zajmuje się badaniem biogeneratywnej, matabolicznej architektury, w której naturalnie występujące systemy i struktury ulegają programowaniu (tu: genetycznemu) tak, aby spełnić zapotrzebowane wymagania

funkcjonalne i konstrukcyjne. Kluczowe znaczenie ma tutaj prototypowanie zaprojektowanych kształtów przy pomocy addytywnej prefabrykacji (tu: drukowania 3d) celem sprawdzenia wytrzymałości statycznie niewyznaczalnych struktur. Dollens łączy w swojej pracy 2 systemy teoretyczne: biologiczną samoorganizację poprzez autopojetykę (tu: samowytwarzanie, autreplikację) oraz rozwiniętą komunikację poznawczą środowiska. Autopojetyka w rozumieniu Dollensa stanowić ma jak to określa *rusztowanie dla designu*¹⁰⁰. Opracował on na potrzeby swoich badań system projektowania 3d o nazwie Xfrog (L-system simulations + 3d stereographic STL models) [24]. Na uwagę zasługuje fakt, iż poza problematycznym moim zdaniem zaprzęgnięciem genetycznej modyfikacji do pracy naukowej związanej z biomimetyką, działalność Dollensa przesuwą granicę projektowania do świata żywych, samotrzymujących się organizmów. Dostrzec można tutaj podobieństwo do badań prowadzonych przez Mitchella Joachima w Terreform ONE Lab. Działalność naukowa i teoretyczna Dollensa jest próbą określenia teorii wyrażającej cechy i warunki niezbędne do zdefiniowania minimalnych wymagań życiowych, które dotyczyć mają nie tylko molekularnych systemów komórkowych, ale także maszyn, oprogramowania i środowisk. Dollens zadaje pytania o to, jak sztuczna inteligencja, biologia syntetyczna i technologia życia mogą łączyć się z estetyką, geometrią i badaniami roślin, aby wizualnie i systematycznie pomagać w ekstrapolacji generatywnych reguł proceduralnych i geometrii i form metabolicznych. Architektura autopojetyczna proponuje budynki hybrydizowane za pomocą algorytmicznej symulacji roślin, żywych bakterii, wykorzystania metabolizmu i symulacji komputerowej. Teksty Dollensa [23, 24] omawiają i ilustrują indukowaną ewolucję w jednej wyłaniającej się metodzie - rozwiniętym projektowaniu autopojetycznym - dla architektury metabolicznej zrealizowanej za pomocą symulowanego oprogramowania. Wynikająca z morfologii roślin autopojetyczna, generatywna architektura przejawia się w prototypowych ideach, teoriach, strukturach, powierzchniach, materiałach i systemach udokumentowanych rysunkami, renderingami i modelami STL.



fot. 37: Arizona Tower (2006). Dwie strony komiksu opracowanego przez Denisa Dollensa dla studentów biomimetyki. Cyfrowa architektura ilustruje metody ekstrapolacji informacji botanicznych z rośliny i tłumaczy je na generatywne i eksperymentalne formy architektoniczne.

¹⁰⁰ Dennis Dollens: *Architecture, eTrees, & Nature*, DISEGNARECON, 2010r.

Abstrahując od oceny kierunku działalności Dollensa, propagacja sztucznej inteligencji - czy życzymy sobie tego, czy nie - jest przedmiotem permanentnie prowadzonych badań. Już w 2014r. firma IBM rozpoczęła laboratoryjne badania nad kognitywnym chipem o nazwie SyNAPSE.

SyNAPSE (ang.: *Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics*) to chip, który w obecnej fazie rozwoju oddaje do dyspozycji milion programowalnych neuronów oraz 256 milionów programowalnych synaps i charakteryzuje się wydajnością 46 miliardów operacji synaptycznych na sekundę. Rezultatem powinny być szybsze, chłodniejsze i bardziej kompaktowe podzespoły komputerowe. Podczas projektowania chipu SyNAPSE inżynierowie starają się jak najwierniej odwzorować działanie mózgu – interakcję neuronów i synaps. IBM - prowadzący badania nad chipem - wykorzystuje wiedzę biologiczną i stara się przełożyć ją na zaawansowane algorytmy i krzemowe obwody. *Komputer poznawczy – bo tak określają finalny produkt inżynierowie – podobnie jak ludzki mózg miałby rozwiązywać problemy na podstawie hipotez i wcześniejszych doświadczeń oraz metodą prób i błędów.*¹⁰¹

3.5. Biomimetyka wzornictwa przemysłowego - Ross Lovegrove

*Ross Lovegrove jest projektantem i wizjonerem, którego praca jest uważana za najważniejszy element stymulowania głębokiej zmiany w fizyczności naszego trójwymiarowego świata. Inspirowane logiką i pięknem natury projekty Lovegrove'a łączą współczesne możliwości technologiczne, zaawansowaną inżynierię materiałową z inteligentną formą organiczną, co sprawia, że wielu przemysłowych liderów postrzega je jako nową ekspresję estetyczną XXI wieku. W jego projektach zawsze tkwi głębokie ludzkie i pomysłowe podejście, które wywoływać ma optymizm i innowacyjną witalność zarówno w przedmiotach codziennego użytku, prototypach pojazdów czy w architekturze*¹⁰² [s18].

Ross Lovegrove urodził się w 1958 w Cardiff w Walii. Ukończył w 1980r. Politechnikę w Manchesterze (z tytułem licencjata - BA: Bachelor) oraz w 1983r. Royal College of Art w Londynie (z tytułem magistra - MA: Master). Na początku lat 80. pracował jako projektant Frog Design w Niemczech Zachodnich przy projektach takich jak Walkman dla Sony, komputerach Apple Computers. Później przeniósł się do Paryża jako konsultant do Knoll International. Jest autorem Alessandri Office System - serii niezwykle popularnych mebli biurowych. Został zaproszony do przyłączenia się do prestiżowego Atelier de Nimes wraz z Jeanem Nouvelem i Phillipem Starkiem, konsultując między innymi projekty marek takich jak Cacharel, Louis Vuitton, Hermes i Dupont. Po powrocie do Londynu w 1986 roku realizował projekty m.in. dla Airbus Industries, Kartell, Ceccotti, Cappellini, Idee, Moroso, Luceplan, Driade, Peugeot, Apple Computers, Issey Miyake, Vitra, Motorola, Biomega, LvMH, Yamagiwa Corporation, Tag Heuer, Hackman, Alias, Herman Miller, Artemide, Japan Airlines i Ito Architects w Japonii.

Lovegrove jest laureatem licznych międzynarodowych nagród, a jego twórczość została szeroko opublikowana i wystawiona na arenie międzynarodowej, w tym Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Nowym Jorku, Muzeum Guggenheima w Nowym Jorku, Axis Center Japan, Centrum Pompidou w Paryżu i Design Museum w Londynie. Jego prace znajdują się w stałych kolekcjach różnych muzeów designu na całym świecie, w tym Museum of Modern Art w Nowym Jorku (MOMA), Design Museum w Londynie i Vitra Design Museum Weil am Rhein w Bazylei. Jego prace były pokazywane na wielu wystawach na całym świecie [s18].

¹⁰¹ <http://www.benchmark.pl/aktualnosci/ibm-synapse-chip-nasladowy-dzialanie-ludzkiego-mozgu.html>

¹⁰² <http://www.rosslovegrove.com/index.php/about-us/>



fot. 38, 39, 40: Projekty Rossa Lovegrove`a kolejno: GO CHAIR - 2001r. / DNA Staircase - 2005r. / TY NANT Water Bottle - 2002r.

Projekty Rossa Lovegrove`a - jak sam uważa - realizowane są w zaufaniu do swojego instynktu jako projektanta przy udziale permanentnej ciekawości i miłości do formy. Lovegrove określa swoje projekty jako organiczne i zgodne z własną definicją DNA: *design* (pol.: projektowanie) - *nature* (pol.: natura) - *art* (pol.: sztuka). Instynktowne podejście do projektowania oraz zastosowanie biomimetyki pozwala mu projektować formy, z którymi w założeniu użytkownik powinien nawiązywać emocjonalną relację z uwagi na fakt swojego podobieństwo do form zaobserwowanych w świecie natury. Kluczowym w projektach Lovegrove`a jest prototypowanie, użycie nowoczesnych technologii (m.in. druku 3d) oraz materiałów takich jak m.in. biopolimery. Określa on swoje produkty jako "fat-free" czyli "pozbawione tłuszczu" zarówno z uwagi na fakt ich materiałowej struktury oraz optymalizacji kształtu, którą odnieść można do optymalizacji energii występującej w przyrodzie [s19].

3.6. Biomimetyka a projektowanie parametryczne.

Wspomagane komputerowo projektowanie parametryczne ma kluczowe znaczenie zarówno dla biomorficznego projektowania architektonicznego jak i dla biomimetycznej optymalizacji konstrukcji. W pierwszym przypadku wielokrotnie mamy do czynienia ze statycznie niewyznaczalnymi strukturami, gdzie jesteśmy w stanie jedynie za pomocą komputerowej symulacji obciążeń obliczeniowych i charakterystycznych przy użyciu metody stanów granicznych nośności i użytkownika sprawdzić inaczej niż doświadczalnie sztywność konstrukcji i zdolność przenoszenia obciążeń poszczególnych jej elementów. W drugim przypadku, w analogiczny do powyższego sposób jesteśmy w stanie optymalizować konstrukcję zgodnie z biomimetyczną zasadą "więcej projektowania - mniej materiału". Projektowanie parametryczne jest szeroko stosowane m.in. przez wspomnianych w niniejszej dysertacji Neri Oxman przy prototypowaniu struktur w trakcie badań materiałowych, Denisa Dollensa w systemie xFrog czy też zespół prof. Bocka na ETH w Zurychu dla modelowania cienkościennych sklepień inspirowanych sklepieniami braci Gustavino.

Doświadczalne, intuicyjne stosowanie projektowania parametrycznego pozwala m.in. Michaelowi Hansmeyerowi¹⁰³ pracować nad nieskończoną ilością nowych form kolumn. Kolumny te (fot. 41) powstają poprzez dzielenie komórek w podziale symetrycznym i asymetrycznym. Trójwymiarowe kształty zagięte są poprzez zaprojektowany algorytm celem zachowania kontroli nad formą analizując miejsca zagięcia. W procesie tym ma miejsce projektowanie procesu tworzenia formy, nie zaś formy samej w sobie, co można odnieść do zasad projektowania biomimetycznego.

¹⁰³ Michael Hansmeyer jest prowadzącym grupę CAAD na ETH w Zurychu architektem wykorzystującym algorytmiczne techniki architektoniczne oprogramowania CAD do generowania złożonych struktur (m.in. Subdivided columns 2010r.) [s20].

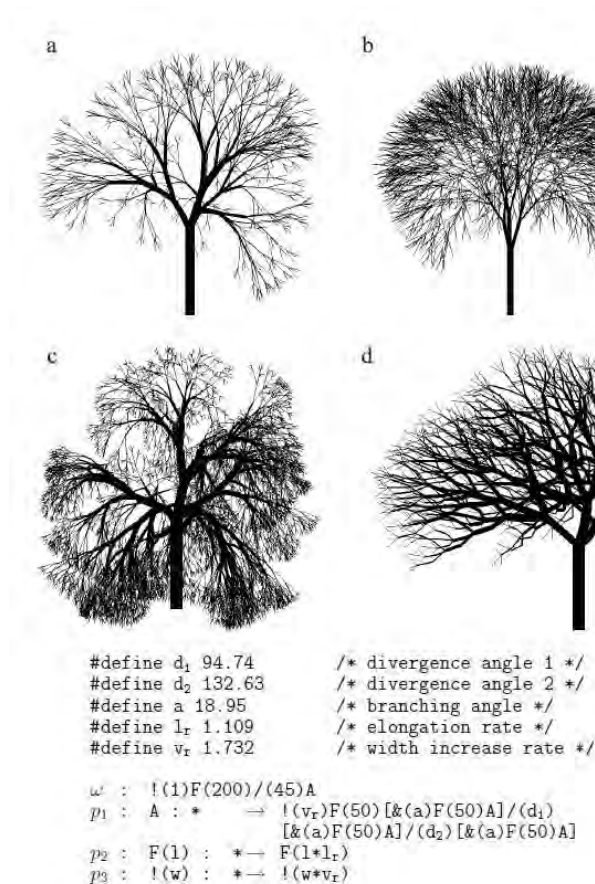


fot. 41: Michael Hansmeyer: Subdivided columns. 2010r.



fot. 42: Marc Fornes : Form of Wander, Tampa, Floryda, 2018r.

Kluczowa jest w tym przypadku jednak pełna kontrola "składania" i analiza informacji zawartych w kształcie celem uniknięcia geometrycznego szumu. Projektowanie parametryczne pozwala więc na przekroczenie granic formy związanej ze statyczną wyznaczalnością jej konstrukcji w euklidesowej geometrii (fot.42). Jednocześnie, umożliwia dokładne wyznaczenie elementów składowych i pokrycia konstrukcji co praktycznie eliminuje potencjalne odpady, które za pewne pojawiłyby się w przypadku standardowego prototypowania przy budowie fizycznego modelu.



fot. 43: Przykłady struktur drzewopodobnych z rozgałęzieniami trójskładnikowymi.¹⁰⁴

¹⁰⁴ Przemysław Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer: *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer-Verlag, 2004r. [14]

Jednocześnie, projektowanie parametryczne jest jedynym dostępnym aktualnie narzędziem pozwalającym na zaprogramowanie addytywnej fabrykacji (np. wydruku 3d). Pozwala to w trakcie optymalizacji konstrukcji związanej z jej statyczną lub dynamiczną pracą zoptymalizowanie ilości używanego materiału tak, aby jego przyrost występował przede wszystkim w miejscach zwiększonego obciążenia jak w przypadku w całości "wydrukowanego" w pracowni MX3D stalowego mostu (fot. 44).



fol. 44: Stalowy most w całości wyprodukowany za pomocą drukowania 3d. MX3D, Amsterdam.

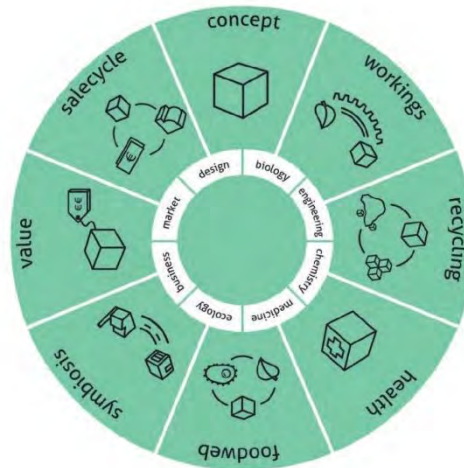
3.7. Nature Inspired Design Handbook – podręcznik biomimetycznego projektowania.

W 2015 roku, grupa badaczy z Uniwersytetu Technicznego w Delft (Holandia) – Erik Tempelman, Bram van der Ginten, Ernst-Jan Mul oraz Ingrid de Pauw opracowała i wydała podręcznik do projektowania inspirowanego naturą - Nature Inspired Design Handbook [15]. Jest to publikacja bezpośrednio nawiązująca do projektowania biomimetycznego również w dziedzinie architektury. Swoją pracę rozpoczynają oni do wskazania sześciu głównych zasad, którymi kieruje się rzeczne projektowanie inspirowane naturą:

- *waste equals food* - odpady równe żywności: jedna z podstawowych zasad zgodnych z ideą **cradle to cradle** zakładająca cykliczny, zamknięty obieg cząstek technologicznych i możliwy rozpad cząstek biologicznych; oba składniki – zgodnie z opisaną w pkt. 1.9 zasadą mogą ulegać rozkładowi na elementy podstawowe i zostać ponownie wykorzystane lub zkompostowane (w przypadku cząstek biologicznych),
- *use current solar impact* - wykorzystywanie energii słonecznej: prawie wszystkie organizmy żywe na Ziemi wykorzystują energię słońca; zasada proponuje, aby była ona wykorzystywana również dla projektów inspirowanych naturą (NID),
- *be locally attuned and responsive* - lokalne zaangażowanie i reakcje: zauważone zostaje znaczenie miejsca dla projektowania inspirowanego naturą; pozwala to jednocześnie na opracowanie projektów dostosowanych do lokalnych warunków środowiskowych i klimatycznych pod kątem zarówno budowy jak i rozpadu lub rekonsypcji obiektu architektonicznego,
- *adept and evolve to changing conditions* - dostosowanie i ewolucja do zmieniających się warunków,

- *integrate development with growth* - integracja rozwoju ze wzrostem,
- *be resource efficient* - wprowadzenie zasady oszczędności zasobów.

Ideą opracowania NID Handbook jest wskazanie ścieżki powstawania produktów. Zasady te zobrazowane za pomocą case studies¹⁰⁵ prowadzą do opracowania autorskiego rozwiązania nazywanego NID Wheel¹⁰⁶, które ma integrować NID z praktyką projektowania. Autorzy wprowadzają Dyscypliny i Elementy, gdzie każdej Dyscyplinie przypadają dwa kluczowe Elementy (fot. 45).



fol. 45: NID Wheel, Nature Inspired Design Handbook

Główną zasadą NID jest aby produkty posiadały pozytywny wpływ na swoje otoczenia i vice versa – produkty i ich otoczenie mogą współpracować dla zwiększenia ich połączonej wydajności zgodnie z opisanymi zasadami systemu cradle to cradle. Na potrzeby niniejszego opracowania skupiono uwagę na elemencie *workings* skupiającym zagadnienia z zakresu biologii i inżynierii. Jak podkreślają autorzy, celem NID jest rozwijanie współzależnych systemów produktów i ich otoczenia. Oczekiwane systemy składają się z produktów, usług, firm, użytkowników i dystrybucji strumieni energii i materiałów, które będą współpracować w celu ciągłej poprawy swojej jakości i jakości swojego otoczenia. NID definiuje więc 10 odnotowanych aspektów świata natury, które konfrontuje ze światem technologii, a które mogą zostać zaimplementowane również w projektowaniu architektonicznym:

1. **Krzywe zamiast prostych.** *Przyroda wykorzystuje zakrzywione powierzchnie i zaokrąglone rogi, zamiast płaskich powierzchni i prostych narożników. Gładkie transkrypcje powodują mniejsze koncentracje naprężeń pozwalając na optymalizację lekkich konstrukcji.*
2. **Struktura i materiał.** *W przyrodzie stosuje się mniej zróżnicowanych materiałów o bardziej złożonych i zmiennych strukturach wewnętrznych, podczas gdy w technologii stosuje się więcej zróżnicowanych materiałów, które są wewnątrznie jednorodne.*
3. **Twardość i sztywność.** *W naturze struktury są mocne, wytrzymałe i pozwalają na pewien stopień zginania. Ewentualne uszkodzenia takich struktur pod wpływem naprężeń jest stopniowe. W technologii struktury są z zasady sztywne i unika się zginania. Takie struktury*

¹⁰⁵ studiów przypadku - aut.

¹⁰⁶ Nature Inspired Design Wheel – schemat kołowy projektowania inspirowanego naturą.

są bardzo silne, dopóki nie zawiodą bez ostrzeżenia lub czasu na podjęcie środków zapobiegawczych.

4. **Wyginanie i ruch ślizgowy.** Organizmy w świecie przyrody wyginają się, skręcają lub rozciągają w określonych miejscach z niewielkim tarcie. Technologia wykorzystuje sztywne elementy poruszające się po stykach ślizgowych, które wymagają wysokiej precyzji i smarowania aby zapobiec tarcia.
5. **Adaptacja i przepływ.** W wyniku sił działających z poza układu (pływy, wiatr, opady) elastyczne ciała w świecie natury zmieniają kształt stając się opływowymi nawet w nieprzewidywalnie zmieniających się kierunkach (na nie - aut.) oddziaływania. Technologia wykorzystuje korpusy o stałych, opływowych kształtach zoptymalizowanych tylko na jeden określony wpływ.
6. **Odporność strukturalna na ciągliwość.** Przemysł wykorzystuje metale ciągliwe o jednorodnych strukturach wewnętrznych. Przyroda jednak wykorzystuje sprężystość struktur, takich jak pianki i kompozyty do przekształcania kruchych materiałów w ciągliwe konstrukcje o ulepszonych zachowaniach awaryjnych.
7. **Rozciąganie wobec ściskania.** W naturze konstrukcje zoptymalizowane są zgodnie z zasadami tensegrity. Główna siła pochodzi od elementów obciążonych naprężeniem, które utrzymywane są razem przez kilka elementów kompresji. W technologii materiały często są ściskane. Materiały często są silniejsze pod naprężeniem, dlatego struktury wymagają mniejszej ilości materiału dla danej wytrzymałości. Tensegrity sprawia, że produkt jest lekki.
8. **Powłoki i konstrukcje funikularne.** Konstrukcje tensegrity w przyrodzie są często wykonywane na zasadzie powłok rozciągliwych na zewnątrz z płynami pod ciśnieniem wewnątrz. Przykładem jest hydrostatyczny szkielet i konstrukcje pneumatyczne. Technologie tensegrity zwykle używają kabli i lin jako elementów rozciągliwych. Nawet jeśli technologia wykorzystuje powłoki rozciągliwe, tak jak np. w bezdętkowych oponach, zawierają one gazy pod ciśnieniem. Natura często woli używać wody, ponieważ jest nieściśliwa i użyteczna jako środek transportu i magazynowania dla energii, składników odżywczych i cząsteczek informacyjnych (np. hormonów).
9. **Przesuwanie a obrót.** Mięśnie tworzą ruch przesuwając włókna wzdłuż siebie. W przeciwieństwie do silników technologicznych, prawie żaden ruch w naturze nie jest generowany przez obracające się siłowniki. Rzadko lub wcale nie występuje ruch kołowy.
10. **Elastyczność i elektrokinieza.** Praca mechaniczna w przyrodzie jest często magazynowana elastycznie, co skutkuje względnie prostymi konstrukcjami, w których materiały są wykorzystywane funkcjonalnie. W technologii często odbywa się to elektrycznie lub kinetycznie, co powoduje zastosowanie konstrukcji, które są bardziej złożone¹⁰⁷.

3.8. Biomimetyka w architekturze high-tech i low-tech.

3.8.1. Architektura LOW-TECH, permakultura i architektura wernakularna.

Niezaprzeczalną i podstawową zaletą architektury LOW-TECH jest propagowanie użycia w pełni biodegradowalnych materiałów co wiązać można z pętlą biologiczną idei cradle to cradle. Warte docenienia są ciągle badania nad możliwościami zastosowania drewna, kostki słomianej (tzw. straw bali), betonu konopnego (tzw. hempcrete), lekkiej gliny, celulozy czy ubijanej ziemi

¹⁰⁷ Erik Tempelman, Bram van der Grinten, Ernst-Jan Mul i Ingrid de Pauw: *Nature Inspired Design*, TU Delft

w architekturze siedzib ludzkich prowadzone m.in. przez OSBN¹⁰⁸. Notabene, OSBN przeprowadziło badania nad palnością jednego ze swoich patentów - tynkowanej kostki słomianej. Element zbudowany z drewnianego szkieletu wypełnionego słomą i otynkowany obustronnie trzema warstwami naturalnego tynku pozytywnie przeszedł badanie zgodności z normą PN-B-02867:2013-06. Badanie dotyczyło spełnienia parametru NRO – materiał nierozprzestrzeniający ognia. Należy więc kontynuować badania celem dokładnego sprawdzenia przede wszystkim współczynników przenikania ciepła przez przegrody zbudowane z naturalnych materiałów - co prawdopodobnie będzie wprost proporcjonalne do grubości stosowanego materiału - oraz przede wszystkim współczynnik bezwładności cieplnej z uwagi na strukturę materiału. W klimacie, w którym następują duże wahania temperatury (Δt) cyklu dobowym oraz w funkcji pory roku, bezwładność termiczna ma kluczowe znaczenie w związku z możliwością wystąpienia błyskawicznego spadku temperatury wewnętrznej (t_i) w momencie wyłączenia źródła ciepła.

Z punktu widzenia architektury low-tech w aspekcie implementacji biomimetyki dotrzec można jednak dwie strefy, w których mogłaby mieć ona zastosowanie. Po pierwsze, w architekturze low-tech i architekturze wernakularnej¹⁰⁹ występuje ewidentne skupienie sił i środków w aspekcie produkcji i parametrów zastosowanego materiału. Nie występuje pogłębiona analiza konstrukcji obiektów budowlanych, która mogła by zostać zoptymalizowana tak, aby zminimalizować właśnie użycie materiałów niezbędnych do jej budowy. Występują zasadniczo statycznie wyznaczalne, proste konstrukcje szkieletowe, słupowo-belkowe lub słupowo-ryglowe oparte na zastosowaniu drewna w budowie konstrukcji. Sytuacja ta wydaje się tym bardziej znacząca, że architektura low-tech odwołuje się do opisanej powyżej idei permakultury, która stanowi ewidentną propagację ekologii i biomimetyki. Wydaje się, że zastosowanie biomimetyki w aspekcie naśladowania naturalnie występujących konstrukcji celem ogólnej jej optymalizacji przyniosłoby pozytywne efekty dla kierunku architektury low-tech.

Drugim aspektem istotnym z punktu widzenia gospodarki energetycznej budynków projektowanych zgodnie z nurtem architektury low-tech w aspekcie biomimetyki jest sposób dostarczania energii elektrycznej i cieplnej dla spełnienia zapotrzebowania jej użytkowników. Zasadniczo, w architekturze low-tech rozpropagowano pozyskiwanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł takich jak energia wiatrowa i energia prądu wody. Ciepło do pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi dostarczane jest za pomocą lokalnych źródeł (m.in. pieców raketowych na drewno). Piec raketowy pozwala na efektywne spalanie drewna przy jednoczesnej dużej akumulacji ciepła w cegle szamotowej, z której jest on zbudowany. Po pierwsze jednak wydaje się, że (w zależności od strefy klimatycznej w jakiej dany obiekt jest zlokalizowany) wiatr i prąd cieków wodnych nie będą w stanie zaopatrzyć w/w obiektów w wystarczającą ilość energii, pomijając fakt jej magazynowania, dystrybucji i ewentualnych strat. Po drugie, pozyskiwanie ciepła przy użyciu procesu spalania wydaje się mało ekologicznym rozwiązaniem, abstrahując od zastosowania wysokowydajnych systemów oraz teoretycznie odnawialnego substratu jakim jest drewno opałowe. Zastosowanie ogniw fotowoltaicznych celem pozyskiwania energii elektrycznej przy udziale promieni słonecznych z jednoczesnym udziałem w programie prosumenckim dystrybutorów energii elektrycznej wydaje się w tym przypadku remedium na oba przedstawione problemy.

¹⁰⁸ Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego – stowarzyszenie założone w Warszawie w 2012r. Celem stowarzyszenia jest propagowanie w Polsce budownictwa naturalnego m.in. ze słomy, gliny oraz innych odnawialnych materiałów i wyrobów o prostym procesie produkcji. Zrzesza profesjonalistów: projektantów, wykonawców oraz producentów, a także entuzjastów tego budownictwa. Wymienia się doświadczeniami, organizuje wewnętrzne szkolenia, propaguje budownictwo naturalne. Celem OSBN jest również prowadzenie badań przy współpracy z ośrodkami naukowo-badawczymi oraz edukacja dotycząca osiągnięć naturalnego budownictwa w Polsce i na świecie.

¹⁰⁹ Architektura pospolita, regionalna, tradycyjna.

Permakultura jest natomiast bezpośrednim źródłem zasad, jakimi kieruje się projektowanie biomimetyczne. Jest to, jak wspomniano w powyższych definicjach, *gałąź projektowania ekologicznego, inżynierii ekologicznej i projektowania środowiska, tworząca zrównoważoną architekturę siedzib ludzkich i samoregulujące się systemy rolnicze na wzór ekosystemów naturalnych*¹¹⁰. Centralne zasady etyczne permakultury to troska o ziemię, troska o ludzi i dzielenie się nadmiarami zasobów [s21].



fot. 46: BioDomek projektu arch. Magdaleny Górskiej (EKODAMA).

*Projektowanie permakulturowe podkreśla wzorce krajobrazu, funkcje i powiązania między gatunkami. Zadaje pytanie: "Gdzie jest miejsce tego elementu? Jak można go umiejscowić z największą korzyścią dla systemu?" Aby odpowiedzieć na to pytanie, główną koncepcją permakultury jest zmaksymalizowanie korzystnych połączeń pomiędzy składowymi i synergia ostatecznego projektu. Permakultura nie skupia się na pojedynczych elementach, ale na powiązaniach stworzonych pomiędzy składnikami poprzez sposób ich zakomponowania; całość staje się istotniejsza, niż pojedyncze składniki. Projektowanie systemów permakultury ma na celu redukcję odpadów, pracy ludzkiej i wkładu energii, poprzez budowę systemów ze zmaksymalizowanymi korzyściami, wypływającymi z połączeń między elementami, aby osiągnąć wysoki poziom synergii. Projektowanie permakulturowe zmienia się w czasie ze względu na związki poszczególnych elementów, stając się złożonym systemem, produkującym żywność i materiały na małej przestrzeni, przy minimalnym wkładzie pracy*¹¹¹. Jak łatwo więc zauważyć, idea permakultury realizuje w pełni opisaną już w niniejszej pracy biomimetyczną zasadę cradle to cradle, gdzie zwraca się szczególną uwagę na funkcjonowanie całego systemu i "zamykanie" pętli obiegu zasobów. Permakultura przyjmuje za punkt honoru zrównoważony rozwój oraz możliwie jak najpełniejsze implementacje naturalnie występujących funkcji. David Holmgren¹¹², współtwórca koncepcji permakultury opracował 12 zasad, które stanowią wytyczne do projektowania zgodnie z jej ideą [39]:

¹¹⁰ <https://pl.wikipedia.org/wiki/Permakultura>

¹¹¹ Ibidem

¹¹² David Holmgren (ur. 1955): australijski inżynier-ekolog i publicysta. Współtwórca koncepcji permakultury [s22].

1. **Obserwuj i bierz udział** (*observe and interact*): poprzez spędzanie czasu na współpracy z naturą możemy zaprojektować rozwiązania odpowiadające naszym potrzebom.
2. **Złap i zatrzymaj energię** (*catch and store energy*): poprzez stworzenie systemów gromadzących zasoby podczas dobrobytu, możemy zachować je na gorsze czasy.
3. **Bądź wydajny** (*obtain a yield*): zapewnij sobie naprawdę użyteczne owoce wykonywanej pracy.
4. **Stosuj samodyscyplinę i zaakceptuj skutki swoich działań** (*apply self-regulation and accept feedback*): musimy ograniczać nieodpowiednie zachowania, aby systemy mogły sprawnie funkcjonować.
5. **Stosuj i doceniaj zasoby i usługi odnawialne** (*use and value renewable resources and services*): korzystaj w pełni z obfitości natury, aby ograniczyć zachowania konsumpcyjne i zależność od zasobów nieodnawialnych.
6. **Nie wytwarzaj odpadów** (*produce no waste*): gdy doceniamy i używamy wszystkie dostępne zasoby, nic się nie marnuje.
7. **Projektuj od wzorców do szczegółów** (*design from patterns to details*): patrząc z dystansu, możemy obserwować wzorce w naturze i społeczeństwie. Mogą one stanowić trzon naszych projektów, do których dodamy następnie szczegóły.
8. **Łącz, nie dziel** (*integrate rather than segregate*): gdy umieszczamy właściwe rzeczy na właściwym miejscu, powstają między nimi związki, i rzeczy te pracują wspólnie, nawzajem się wspierając.
9. **Stosuj małe i powolne rozwiązania** (*use small and slow solutions*): małe i powolne systemy są łatwiejsze w utrzymaniu niż duże, lepiej wykorzystują zasoby lokalne i dają wyniki bardziej zrównoważone.
10. **Stosuj i doceniaj różnorodność** (*use and value diversity*): zmniejsza ona wrażliwość na zagrożenia i wykorzystuje unikalne właściwości środowiska, w którym się znajduje.
11. **Wykorzystuj krawędzie i doceniaj elementy graniczne** (*use edges and value the marginal*): najciekawsze sceny rozgrywają się w miejscach granicznych. Są to często najbardziej cenne, różnorodne i produktywne elementy systemu.
12. **Kreatywnie wykorzystuj zmiany i reaguj na nie** (*creatively use and respond to change*): poprzez uważną obserwację możemy pozytywnie wpływać na nieodwołalne zmiany, interweniując we właściwym czasie¹¹³.

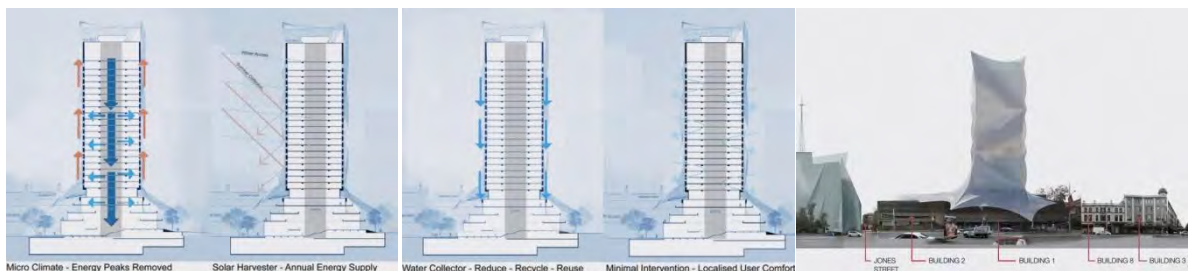
3.8.2. Architektura HIGH-TECH.

W aspekcie architektury w środowisku zrównoważonym i biomimetyki, architektura high-tech niesie za pewne większy ślad węglowy niż architektura low-tech, który to związany jest z wytwarzaniem materiałów budowlanych. Daje jednak zdecydowanie większe możliwości kształtowania architektury. Warunkiem granicznym jest tutaj jednak zalecenie wykorzystywania elementów (tu: materiałów budowlanych), które mogą zostać w pełni przetworzone (recycling) lub ponownie wykorzystane zgodnie z cyklem technologicznym idei cradle to cradle. Architektura high-tech z zasady implementuje zdobycze współczesnej technologii (m.in. zaawansowane systemy sterowania temperaturą, oświetleniem, wentylacją, ogniwa fotowoltaiczne, systemy odzyskiwania energii i.t.p.), które ułatwiają biomimetyczne projektowanie. Możliwości skali i wielkości obiektów architektury high-tech z uwagi na użyte materiały budowlane są zdecydowanie większe niż architektury low-tech. Jak odnotowano, architektura high-tech jest zwykle wielofunkcyjna, w przeciwieństwie do architektury low-tech, która w dużej mierze sprowadza się do architektury siedzib ludzkich.

Jednymi z czołowych propagatorów biomimetyki w architekturze high-tech są projektanci z LAVA Studio Architects: Chris Bosse, Tobias Wallisser i Alexander Rieck. LAVA, jak twierdzą

¹¹³ David Holmgren: *Permaculture: Principles & Pathways Beyond Sustainability*; Holmgren Design Services, 2002r.

założyciele, łączy nowoczesne technologie ze wzorcami organizacji odnotowanymi w przyrodzie, aby budować inteligentniejszą, przyjaźniejszą oraz społecznie i środowiskowo zaangażowaną przyszłość. LAVA wykorzystuje inspiracje naturalnie występującymi strukturami (jak płatki śniegu, pajęczyny czy bańki) dla nowych typologii budynków i struktur. Zdaniem projektantów: geometria w naturze generuje zarówno wydajność, jak i piękno. Projektanci LAVA łączą w swojej pracy zasady strukturalne natury i najnowsze cyfrowe technologie wytwarzania, aby budować zgodnie z zasadą "więcej za mniej": więcej architektury z mniejszym nakładem (materiału / energii / czasu / kosztu). Projektanci wierzą, że architektura może wiele nauczyć się od natury. Ich koncepcje zawierają inteligentne systemy i powłoki, które mogą reagować na czynniki zewnętrzne, takie jak ciśnienie powietrza, temperatura, wilgotność, promieniowanie słoneczne i zanieczyszczenie [s23].



fol. 47: RE:SKIN UTS Tower, LAVA Studio Architects

To, co początkowo zaczęło się jako spekulatywna propozycja zmiany kształtu wieży UTS w Sydney, przerodziło się w szerszy pomysł architektoniczny polegający na zmianie przeznaczenia nieefektywnych lub przestarzałych budynków jako alternatywy dla wyburzania i odbudowy z ogromnym nakładem finansowym i środowiskowym. Firma LAVA opracowała prostą, efektywną kosztowo i łatwą do skonstruowania powłokę budynku, która może potencjalnie zmienić tożsamość, zrównoważony rozwój i komfort wnętrza każdej istniejącej struktury (fol.47). "Skóra" jest półprzezroczystym kokonem, który może stworzyć swój własny "mikroklimat". Może generować własną energię za pomocą ogniw fotowoltaicznych, może zbierać wodę deszczową, poprawiać dystrybucję naturalnego światła dziennego i wykorzystywać dostępną energię konwekcyjną do zasilania wentylacji budynku. Istniejący wcześniej budynek zostaje więc owinięty trójwymiarową lekką, wysokowydajną tkaniną z siatki kompozytowej. Napięcie powierzchniowe pozwala na swobodne rozciąganie membrany po lekkiej stalowej ramie wokół ścian i elementów dachu, osiągając maksymalny efekt wizualny przy minimalnym wysiłku materiałowym. „Skóra” z wbudowanymi taśmami LED działa jako inteligentna powierzchnia efektywnie integrująca zasady architektury, mody, mediów i projektowania komunikacji z nową hybrydową typologią.

Technologia ta może być z łatwością zastosowana w innych budynkach na całym świecie potrzebujących przebudowy elewacji, szybko i ekonomicznie podnosząc ich wydajność i estetykę poprzez minimalną interwencję. LAVA kontynuuje aktualnie badania nad zrównoważoną architekturą publiczną poprzez połączenie lekkich współczesnych materiałów z najnowszymi cyfrowymi technologiami wytwarzania, aby osiągnąć więcej (tu: architektury) przy mniejszym nakładzie (tu: materiału / energii / czasu).



fol. 48: Forest City Green Lava Skyline: LAVA Studio Architects

Koncepcja Forest City projektu LAVA Studio Architects (fol.48) postrzega miasto nie jako symboliczny budynek ale jako centralną przestrzeń publiczną. Koncepcja jest odwróconą panoramą miasta, gdzie ikona miasta jest przestrzenią publiczną, a nie obiektem architektonicznym. Tą centralną przestrzeń przedstawia, zdaniem autorów, równanie: ludzie = miasto. Urbanistyka miasta przyszłości zbudowana być powinna, zdaniem projektantów LAVA Studio Architects zgodnie z poniższymi zasadami:

- miasta publicznego: centralnej przestrzeni publicznej otoczonej budynkami,
- miasta warstwowego: w którym ludzie, koleje i ruch drogowy są oddzielone od siebie wertykalnie,
- miasta w pętli: miasta jako systemu zamkniętej pętli, wykorzystującego ponownie zasoby i kontrolującego ich wpływ;
- miasta „gąbek”: z procesami recyklingu ukrytymi pod ziemią.

Grupa budynków w koncepcji Forest City Green Lava Skyline „schodzi” kaskadowym układem stropów w kierunku zielonego centrum publicznego i stanowi architektoniczną interpretację lasu deszczowego z różnymi, kolejnymi warstwami programu funkcjonalnego. Forest City ma być z założenia nowym, inteligentnym miastem o powierzchni ok. 20 kilometrów kwadratowych na zrekultywowanej ziemi w południowej Malezji.

3.9. Biomimetyka a rekonsupcja architektury

W związku faktem, iż na podstawie obserwacji cyklu biologicznego gospodarowania odpadami zbudowano ideę cradle to cradle uzupełniając cykl biologiczny o cykl technologiczny tak, aby projektowanie oraz produkcja odbywały się zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, rekonsupcja architektury jest kluczowa z biomimetycznego punktu widzenia. Temat ten został szeroko przeanalizowany i opisany przez Macieja Skowrońskiego [19]. W sytuacji postępującej degradacji środowiska naturalnego, które zwiększone jest w dużych skupiskach ludności w związku ze zwiększoną tym samym ilością odpadów, konieczna jest analiza i rekonstrukcja cyklu życiowego materiałów (w tym materiałów budowlanych). Skowroński przytacza

dane, na podstawie których w 2050r. popyt na żywność i włókno może wzrosnąć do 70% w sytuacji, w której 60% ekosystemów, które przyczyniają się do ich wytworzenia uległo degradacji lub wykorzystywane jest w sposób niezrównoważony. Obrazowo ujmując powyższe dane - będziemy potrzebować dwóch planet wielkości Ziemi aby sprostać powyższemu zapotrzebowaniu. Jest to w oczywisty sposób niemożliwe tym bardziej z uwagi na permanentny wzrost w/w zapotrzebowania i rosnącą energochłonność wytwarzania materiałów. *Należy zatem dążyć do jak najszybszej restrukturyzacji polskiej gospodarki, polegającej na wprowadzaniu nowoczesnych technologii i intensyfikacji działań mających na celu zrównoważone wykorzystywanie zasobów*¹¹⁴ - twierdzi Skowroński.

Dane z roku 2008 wskazują, iż odpady budowlane w tym czasie stanowiły 32% ogólnej liczby odpadów. Postępujący wzrost ich przetwarzania i odpowiednie zarządzanie zredukuje, jak pisze Skowroński, ich destrukcyjny wpływ na środowisko stwarzając jednocześnie nowe możliwości gospodarcze. Należy więc już na etapie projektowania poddać analizie efekty działalności budowlanej związane są ze zjawiskiem wysokiej eksploatacji zasobów i generowania dużej ilości odpadów, przy jednoczesnym zużyciu energii na wszystkich etapach cyklu życiowego materiałów budowlanych. Konieczne jest zdaniem Skowrońskiego "rozłączenie" wzrostu gospodarczego od procesu degradacji środowiska i wprowadzenie gospodarowania odpadami w cyklu biologicznym i technologicznym zgodnie z zasadami cradle to cradle. Definiuje on kluczowe zadania stojące przed architekturą w środowisku zrównoważonym:

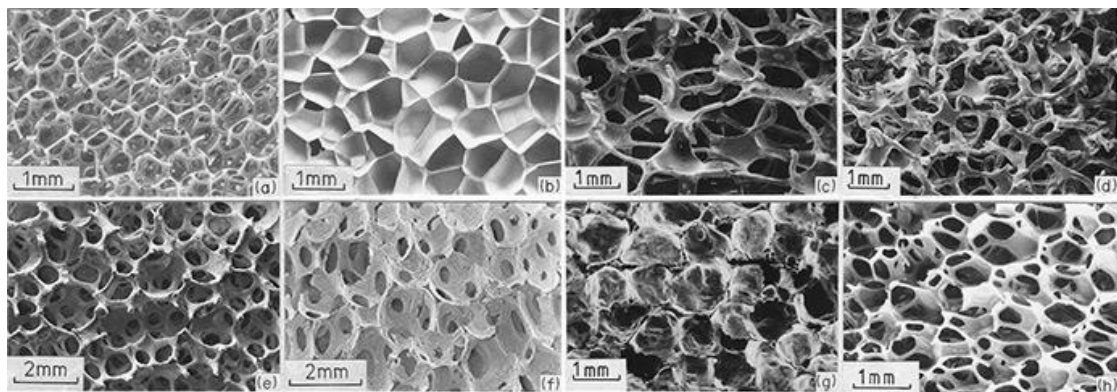
- staranna selekcja materiałów budowlanych poprzedzona dokładną analizą ich cyklu życiowego;
- stosowanie w budownictwie lokalnych gatunków drewna;
- wprowadzenie systemów odzyskiwania i zbiorki wody deszczowej;
- minimalizacja energochłonności i propagowanie odnawialnych źródeł energii;
- zwrócenie uwagi na poprawne usytuowanie budynku w terenie;
- upowszechnienie dostępności komunikacji zbiorowej;
- minimalizacja wykorzystania chemikaliów mających niekorzystny wpływ na ozonosferę;
- ochrona terenów zielonych oraz istniejącej szaty roślinnej;

Skowroński zwraca uwagę na konieczność produkcji dodatkowej energii celem przeprowadzenia procesów przetworzenia (tu: recyklingu) materiałów budowlanych, generalnie związanych z konicznością topienia w wysokiej temperaturze, o której pisał Michael Pawlyn. Wskazuje też przykłady, gdzie odpady z jednego cyklu stają się materiałem do budowania w innym jak architektura spontaniczna, demonstracja artystyczna, slumsy i squaty. Prezentuje domy budowane z opon, butelek, części składowych samolotów, kontenerów cargo i.t.p. W krajowym kontekście znaczenie ma również aspekt rekonsupcji budynków wyprodukowanych w technologii prefabrykowanej w latach 70-tych i 80-tych ubiegłego wieku - tzw. „wielkiej płyty”. Wariantowe studium opłacalności ekonomicznej rekonsupcji obiektu modelowego przeprowadzone po analizie rekonsupcji kolejnych materiałów budowlanych przeprowadzone przez Skowrońskiego daje pozytywne wnioski. W aspekcie biomimetyki rekonsupcja architektury ma znaczenie z uwagi na propagowanie opisanej zasady cradle to cradle. Jak zauważono, jeden z zaprezentowanych projektów Vincenta Callebaut: The 5 Farming Bridges w Mosulu opiera się na „drukowaniu” nowej architektury z gruzów obiektów zniszczonych w trakcie działań wojennych. Dostępne technologie nie pozwalają niestety jeszcze na tak daleko posunięty recycling, ale jest to warta rozważenia idea, a której następuje ścisłe połączenie rekonsupcji i biomimetyki (w ramach integracji rozwoju ze wzrostem) oraz możliwości, jakie teoretycznie przyniosłoby pełne, ponowne wykorzystanie elementów składowych istniejących obiektów architektonicznych.

¹¹⁴ dr Maciej Skowroński: *Rekonsupcja Architektury*; praca doktorska na Wydziale Architektury PWr, Wrocław 2015r.

3.10. Badania materiałowe Lorny Gibson.

Lorna Gibson¹¹⁵ koncentruje się na badaniach nad plastycznym i elastycznym zachowaniem materiałów komórkowych. Wiele materiałów ma strukturę komórkową z dwuwymiarową tablicą pryzmatycznych komórek, jak w plastrze miodu lub trójwymiarową tablicą wielościennych komórek, jak w piance. Inżynieria plastra miodu i pianki może być teraz wykonana z niemal dowolnego materiału: polimerów, metali, ceramiki, szkiele i kompozytów, o wielkości porów w zakresie od nanometrów do milimetrów. Ich struktura komórkowa daje wyjątkowe połączenie właściwości, które są wykorzystywane w projektowaniu inżynierskim: ich mała waga czyni je atrakcyjnymi dla strukturalnych płyt warstwowych. Ich zdolność do poddawania się dużym odkształceniom przy stosunkowo niskich naprężeniach sprawia, że są one idealne do pochłaniania energii uderzeń. Niska przewodność cieplna czyni je doskonałymi izolatorami, a ich wysoka powierzchnia właściwa czyni je atrakcyjnymi dla podłoży katalizatorów do reakcji chemicznych. Materiały komórkowe są coraz częściej wykorzystywane w aplikacjach biomedycznych. Pianki z otwartymi komórkami są badane pod kątem powłok na implanty ortopedyczne. Porowate rusztowania do regeneracji uszkodzonych lub chorych tkanek często przypominają piankę o otwartych komórkach. Materiały komórkowe są również szeroko rozpowszechnione w tkankach roślinnych i zwierzęcych: przykłady obejmują drewno, korek, miąższ roślinny, kość bełczkowatą i pęcherzyki płucne [25].



fol. 49: Struktura komórkowa wybranych materiałów: (a) poliuretan otwarc-komórkowy, (b) polietylen zamknięto-komórkowy, (c) nikiel, (d) miedź, (e) cyrkonka, (f) mullit, (g) szkło piankowe, (h) piana polieteru z otwartymi i zamkniętymi komórkami.¹¹⁶

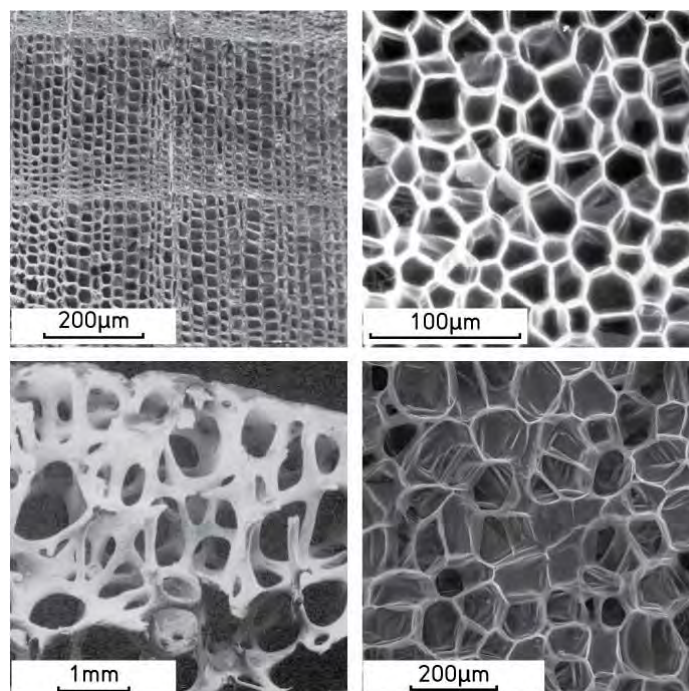
Grupa badawcza Lorny Gibson wykonuje zarówno modelowanie, jak i testy mechaniczne na szerokiej gamie brył komórkowych. Przyczyniła się do zrozumienia mechaniki stałych komórek, a także do ich szerokiego zastosowania. Obecnie, grupa skupia się na badaniach nad strukturą i mechaniką bambusa, z myślą o rozwoju strukturalnych produktów bambusowych i balsy, z myślą o wytyczeniu projektu materiałów inżynierskich inspirowanych balsą.

Wiele materiałów roślinnych, w tym drewno, korek, miąższ roślinny, liście i łodygi mają strukturę komórkową. Lorna Gibson wykorzystuje modele dla komórkowych ciał stałych, aby zrozumieć mechaniczne zachowanie wybranych systemów roślinnych. Na przykład drewno i korek mogą być modelowane jako plastry miodu, podczas gdy miąższ roślinny może być modelowany jako pianka. Liście wielu roślin jednoliściennych, takich jak tęczówki, stanowią płyty warstwowe ze sztywnymi, wzmocnionymi włóknami powierzchniami oddzielonymi piankowatym rdzeniem komórek miękiszowych. Struktura sandwichowa zmniejsza ciężar skrzydła dla jego wymaganej sztywności. Pędy roślin mają często strukturę "rdzeń-skórka", z gęstą zewnętrzną cylindryczną

¹¹⁵ Matoula S. Salapatas Professor w dziedzinie inżynierii materiałowej, MIT, Boston, MA

¹¹⁶ Lorna Gibson LJ and Ashby MF: *Cellular Solids - Second Edition*, Cambridge University Press, 1997r.

skorupą podtrzymywaną przez podobny do plastra miodu lub piankowy rdzeń. Rdzeń komórkowy zwiększa odporność trzpienia na uszkodzenie przez miejscowe załamanie [26].



fol. 50: Materiały komórkowe w naturze: cydr (górnv-lewy), korek (górnv-prawy), kość bełeczkowa (dolny-lewy), miąższ marchewki (dolny-prawy).¹¹⁷

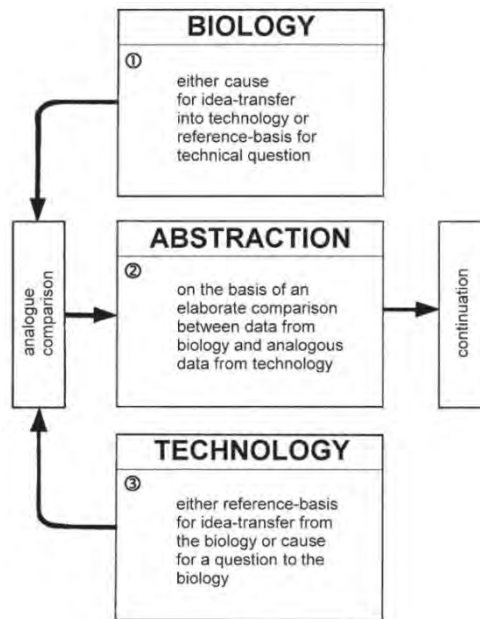
3.11. Metoda LU.

Metoda Lu¹¹⁸ została przedstawiona przez Wernera Nachtigalla oraz Alfreda Wissera - autorów książki *Bionics by Examples*. Metoda ta obrazuje ścieżkę projektowania biomimetycznego w zależności od punktu wyjścia - biologii lub technologii. Autor metody zauważa dwukierunkowość działania biomimetyki: biologii "w służbie" technologii, kiedy poszukiwanie rozwiązania problemu technicznego odbywa się w świecie natury (tu: biologii) lub technologii "w służbie" biologii, gdzie na przykład nanotechnologia i biologia syntetyczna wspiera naturalnie występujące struktury. W drugim przypadku do zachowania dobrostanu lub zapewnienia odpowiednich warunków wzrostu "zatrudniona" zostaje technologia.

Idea w podstawowym schemacie (rys.3) obrazuje dwa źródła danych: biologii, która jest albo przyczyną transferu pomysłów albo podstawą referencyjną dla pytania technicznego oraz technologii, która analogicznie jest podstawą do transferu pomysłów z biologii lub też poszukując odpowiedzi - zadaje jej pytania. W centrum wykresu zaprezentowany zostaje abstrakt opracowany na podstawie dokładnego porównania powyższych danych. W komentarzu do opisu metody, autorzy zwracają uwagę na fakt, iż selekcja analogii, które będą adekwatne w każdym przypadku (będą działać w obie strony) powinno być rezultatem badania dużej ilości danych i parametrów po obu stronach co wymaga szczegółowej wiedzy lub interdyscyplinarnej kooperacji.

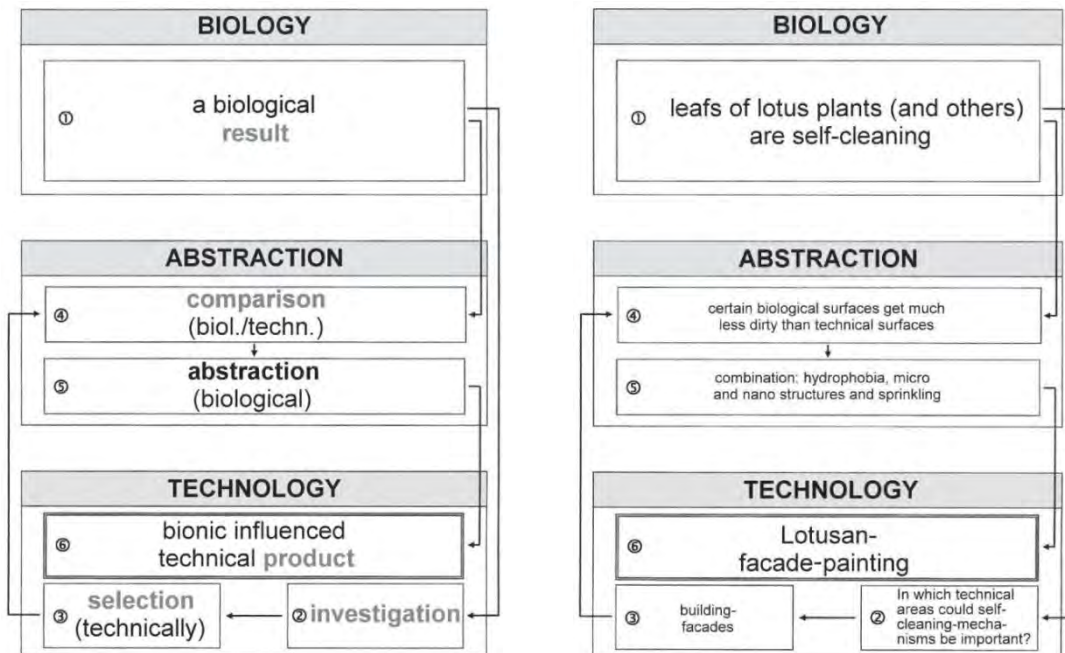
¹¹⁷ Lorna Gibson LJ, Ashby MF i Harley BA: *Cellular Materials in Nature and Medicine*, Cambridge University Press, 2010r.

¹¹⁸ Lu = Luscinius: nazwisko pierwszego autora metody przedstawiona po łacinie (wg Wernera Nachtigalla oraz Alfreda Wissera autorów *Bionics by Examples*, Springer, 2015r.)



rys. 3: Metoda LU: Schemat bazowy.

Celem wyjaśnienia szczegółowego działania metody zaprezentowane zostają dwa warianty. W pierwszym z nich - punktem wyjścia jest biologia celem wykształcenia biomimetycznego produktu.

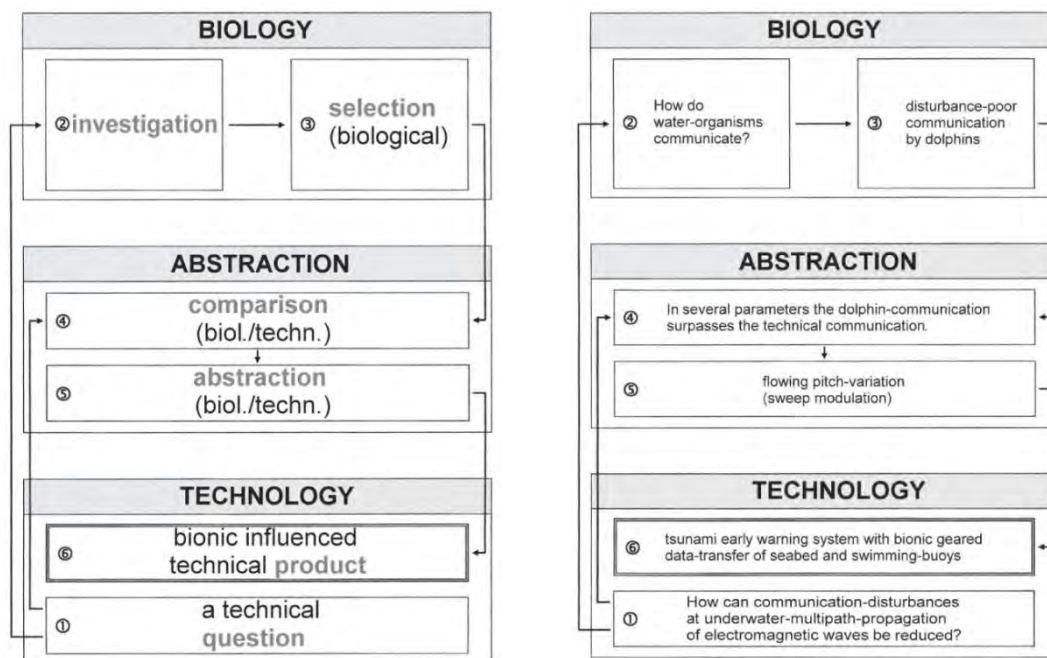


rys. 4: Metoda LU: Wariant, w którym punktem wyjścia jest biologia.

Jeżeli koncepcja odkrycia rozpoczyna się po stronie biologii, "ścieżka" postępowania zawiera szereg kolejno następujących po sobie kroków:

1. Biologiczny rezultat czyli zjawisko zaobserwowane w przyrodzie, które mogłoby mieć zastosowanie w technologii (w powyższym schemacie odnotowano, że liście kwiatu lotosu (łac.: *Nelumbo Nicifera*) mają zdolność samooczyszczania.

2. Badania dotyczące ewentualnej przydatności zaobserwowanego zjawiska w dziedzinie technologii. Obrazuje to zadane pytanie: W jakich dziedzinach techniki, samoczyszczące się mechanizmy mogą być przydatne?
3. Selekcja. W kolejnym kroku następuje odpowiedź na zadane uprzednio pytanie wskazując obszar adaptacji zaobserwowanej zależności lub zaobserwowanego działania.
4. Porównanie elementów biologicznych i technologicznych w aspekcie uprzedniego badania. Zostaje stwierdzone, że powierzchnie wykształcone biologicznie brudzą się zdecydowanie trudniej niż powierzchnie techniczne (narażone na to samo oddziaływanie czynników atmosferycznych - komentarz autora).
5. Ekstrakcja cech podstawowych, krytycznych dla zachowania zaobserwowanego działania. W powyższym przypadku jest to hydrofobowość, mikro- i nanostruktury.
6. Rezultatem, wynikiem analizy jest tutaj biomimetyczny produkt w postaci Lotusanu - farby fasadowej do wykonywania powłok o zredukowanej przyczepności cząstek brudu.¹¹⁹



rys.5: Metoda LU: Wariant, w którym punktem wyjścia jest technologia.

Jeżeli problem technologiczny stoi na początku rozważań, pytanie brzmi: które działanie natury mogłoby pomóc w rozwiązaniu tego problemu? Z tej perspektywy, następuje poszukiwanie w świecie biologii analogicznego do problematycznego działania, które stanowiłoby klucz rozwiązania. Przykład obrazuje próbę wyeliminowania zakłóceń fal, które występują w podwodnej komunikacji bezprzewodowej. Zaobserwowano tutaj sposób komunikowania się ze sobą delfinów. Każdy z tych ssaków posiada unikatowy rodzaj wydawanego dźwięku (w komunikacji werbalnej), które pomimo tego składają się na wspólny dla gatunku "język". Na tej podstawie opracowano system ostrzegania przed tsunami, którego wrażliwość będzie odpowiednia do zaistniałej sytuacji.

1. Jak zakłócenia komunikacyjne fal elektromagnetycznych przy podwodnej, wielościeżkowej ich propagacji mogą być zredukowane?
2. Badanie: Jak komunikują się ze sobą organizmy wodne?

¹¹⁹ StoColor Lotusan® jest aktualnie produkowany przez firmę STO sp. z o.o.

3. Selekcja biologiczna: Pozbawiony zakłóceń sposób komunikacji delfinów.
4. Porównanie elementów biologicznych i technologicznych: w kilku parametrach komunikacja delfinów przewyższa możliwości komunikacji technologicznej (w zadanym środowisku - komentarz autora).
5. Ekstrakcja: Zmienna skala nachylenia (tu: modulacja).
6. Produkt: biomimetyczny system wczesnego ostrzegania przed tsunami za pomocą przeniesienia transferu danych z zatopionych i pływających boi – tzw. dyferencjacji sygnału.

3.12. Wnioski

Analiza materiałów źródłowych wskazuje, że w dziedzinie biomimetyki nastąpiła niezaprzeczalna ewolucja. Od początkowych inspiracji formą i bezpośrednim przenoszeniu struktur naturalnych np. do detalu architektonicznego poprzez głęboko ideowe analizy styku wnętrza obiektu architektonicznego z jego zewnętrzem oraz stosunkiem do natury, optymalizacje konstrukcji inspirowane obserwacjami w mikro- i makroskali, aż po zmianę paradygmatu biomimetyki związaną z zasadami zrównoważonego rozwoju i ekologii. Zmiana ta została zapoczątkowana prawdopodobnie kryzysem energetycznym lat 70-tych ubiegłego wieku i wzrastającą świadomością znaczenia gospodarki materiałowej i dystrybucji energii. W pkt. 3 niniejszej dysertacji zaprezentowano wielokierunkowe podejście i pola zastosowania biomimetyki. Zauważono wiele zbieżności poglądów i obserwacji badaczy zajmujących się tematem inspiracji naturalnie występującymi strukturami, takie jak stosunek do biomimetycznej formy w kontekście biomorfizmu czy też odnotowaną wielokrotnie zasadę strumienia sił związaną z optymalizacją konstrukcji (w tym architektonicznych). Biomimetykę więc zauważyć można w działalności grup badawczych, jak Terreform ONE, której pola działania to między innymi zrównoważona urbanistyka, naturalne budownictwo, gospodarka odpadami, komunikacja, biologia syntetyczna czy też agrokultura miejska. Występuje ona w skali makro w projektach Vincenta Callebaut (wdrażającego wysokowydajne systemy pozyskania energii, recyklingu wody, cradle to cradle, agrokultury miejskiej) oraz mikro w projektach wzornictwa użytkowego Rossa Lovegrove`a, gdzie czynnik intuicji projektanta nadaje jej dodatkowego znaczenia. Zasady jej opisywania, zrozumienia, pozyskania danych z dziedzin pozainżynierskich, opracowanie procesów kształcenia w dziedzinie biomimetyki oraz próba określenia algorytmów biomimetycznego projektowania była polem zainteresowań prof. Andrzeja Samka i wciąż jest prof. Juliana Vincenta. Michael Pawlyn dokonuje przystępnego w odbiorze określenia zasad działania natury tak, aby mogły być one zaimplementowane w działalności architektonicznej. Bada wydajność naturalnie występujących struktur, ich materiał, sposób gospodarowania odpadami, pozyskania energii, dystrybucję ciepła czy też pozyskanie zasobów. Jest on jednym z ekspertów w kwestii biomimetyki w architekturze w środowisku zrównoważonym.

Biomimetyka jest polem zainteresowania niezależnych badaczy (jak Dennis Dollens analizujący biomimetykę w aspekcie systemów autopoietycznych) oraz think-tanków i firm consultingowych (jak zaproponowany przez Janine Benyus system AskNature.org lub Biomimicry Guild). Co istotne, w odniesieniu do działalności Janine Benyus, Vincent Blok i Bart Gremmen¹²⁰ prezentują zdanie odrębne [27] w kwestii często występującego w jej publikacjach postrzegania natury jako idealnego, perfekcyjnego w swoim działaniu zbioru zależności, konstrukcji, funkcji i systemów do naśladowania w świecie technologii. Ma to znaczenie przed przystąpieniem do formułowania wniosków celem określenia cech architektury biomimetycznej.

Ich zdaniem (tu: Vincenta Bloka i Barta Gremmena) naśladowanie (gr.: *mimesis*) natury jest faktycznie naśladowaniem technologicznego modelu natury, nie zaś natury samej w sobie. Istotne

¹²⁰ Wageningen University and Research (NL).

jest tutaj z filozoficznego punktu widzenia wprowadzenie pojęcia silnej i słabej biomimetyki. Silny koncept biomimetyki reprezentowany jest m.in. przez Janine Banyus. Konceptualizuje ona – zdaniem autorów - biomimetykę jako naturalną ścieżkę imitacji naturalnych modeli celem rozwiązania ludzkich problemów. *Chociaż biomimetyka inspirowana jest naturą, inspiracja ta jest przede wszystkim rozumiana jako odkrywanie i naśladowanie natury, a zatem stanowi naturalistyczną koncepcję mimikry, którą odnajdujemy w Arystotelesowskiej Fizyce. Ta silna koncepcja biomimetyki jest, według Benyus, częściowo motywowana ideą, że natura jest miarą oceny etycznej słuszności naszej technologii*¹²¹. Benyus – zdaniem autorów – idealizuje naturę. Mimikra – jak twierdzą - *nie może być rozumiana jako wynalazek inspirowany naturą, ponieważ mimikra może być tylko emulowaniem natury, jeśli w rzeczywistości jest zorientowana na naturę jako model. Biomimikra nie jest wtedy odkryciem modelu natury i kopiowaniem naturalnych procesów w naszych projektach technologicznych, jak twierdzi silna koncepcja biomimetyki. Ta perspektywa jest bardzo naiwna, ponieważ udane kopiowanie natury jest dość rzadkie. Na przykład imitacja skrzydła ptaka nie daje możliwości latania, co historia technik aerodynamicznych wyraźnie pokazuje. Z drugiej strony, jeśli mimikra jest rozumiana jako uzupełniająca reprodukcja natury, logicznie wynika z tego, że natura sama w sobie nie jest już postrzegana jako doskonała, ale jako niedoskonała lub wybrakowana. Jeśli więc pojmimy naturę jako niewystarczającą, silna koncepcja biomimetyki nie jest już pożądana, ponieważ ludzka technologia nie powinna naśladować tego niedoboru, ale precyzyjnie opracować dla niego lekarstwo*¹²².

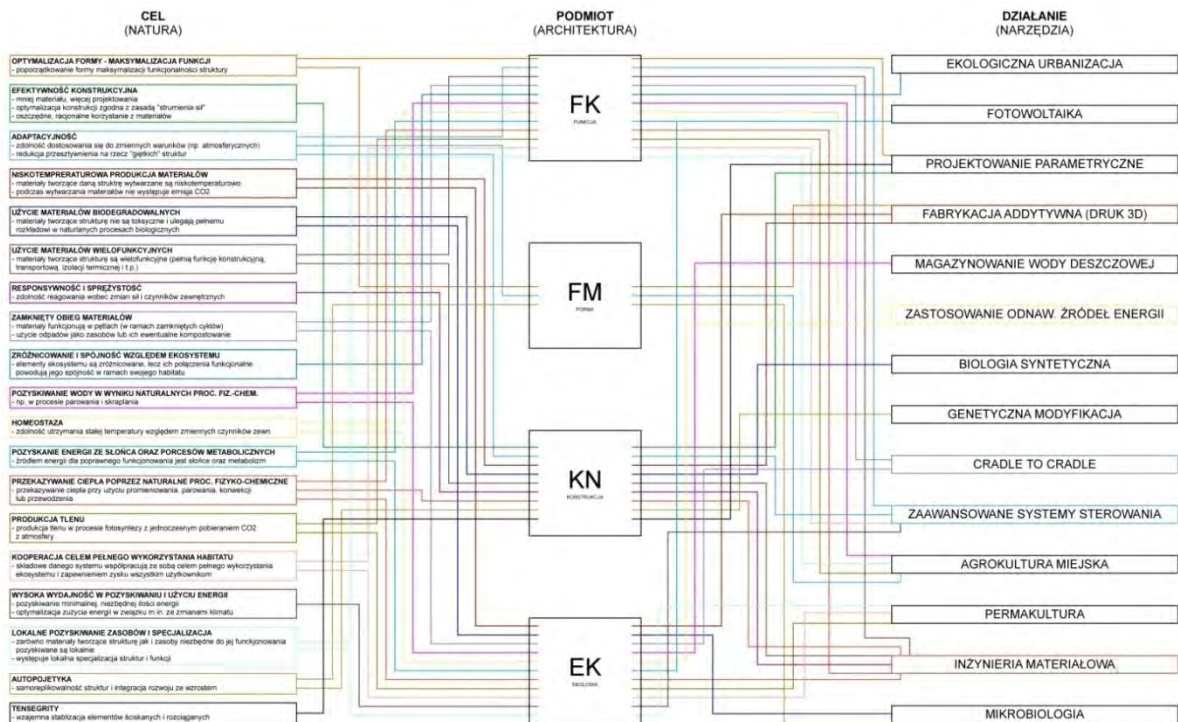
Przedstawiona więc przez Vincent Bloka i Barta Gremmena koncepcja słabej i silnej biomimetyki może być pomocna w praktykach biomimetycznych, ponieważ pozwala nam konceptualizować i uznać fundamentalną złożoność i temperament naturalnych procesów, które biomimetyka próbuje naśladować. Wydaje się, jak twierdzą, że słaba koncepcja biomimikry ma większą elastyczność w radzeniu sobie z pytaniem, jak należy konceptualizować despoty natury i zintegrować ją z konkretnym projektem biomimetycznym? Znaczenie ma więc z tej perspektywy pokora oraz wyzbycie się tendencji do idealizowania natury w ramach biomimetycznych inspiracji. W projektowaniu architektonicznym natomiast, istotną rolę odgrywa wiele równie istotnych czynników i nawet w sytuacji, w której naturalnie zaobserwowana funkcja, struktura czy forma byłaby przez projektantów na etapie koncepcji idealizowana - będzie musiała zderzyć się chociażby z przepisami prawa co spowoduje, że problem etyki oraz silnej lub słabej koncepcji biomimetyki przestanie mieć znaczenie.

Biomimetyka przenika architekturę low-tech, w której szeroko rozpowszechniono ideę permakultury i maksymalizację korzystania z biodegradowalnych materiałów pochodzenia naturalnego. Jednocześnie nowoczesne systemy i technologie takie jak projektowanie parametryczne, fabrykacja addytywna, zaawansowana inżynieria materiałowa czy też biologia syntetyczna, które to są osiągnięciami czasów współczesnych pozwalają na coraz to nowe adaptacje biomimetycznych struktur w architekturze high-tech. Biomimetyka ma znaczenie zarówno w kwestii analizy materiałów komórkowych w mikroskali nawiązując do badań Lorny Gibson oraz w kwestii rekonsypcji architektury zgodnie z zasadami cradle to cradle opisanymi przez Macieja Skowrońskiego.

Zgromadzony i przeanalizowany materiał źródłowy szczegółowo opisany w pkt. 3 niniejszej dysertacji pozwala wyciągnąć wnioski stanowiące podstawę do opracowania w pierwszej kolejności cech biomimetycznego obiektu architektonicznego (pkt. 4), a następnie kryteriów badania celem oceny kwalifikacji obiektu architektonicznego do dziedziny biomimetyki.

¹²¹ Vincent Blok i Bart Gremmen: *Ecological Innovation: Biomimicry as a New Way of Thinking and Acting Ecologically*, Journal of Agricultural and Environmental Ethics, styczeń 2016r.

¹²² Vincent Blok i Bart Gremmen: *Ecological Innovation: Biomimicry as a New Way of Thinking and Acting Ecologically*, Journal of Agricultural and Environmental Ethics, styczeń 2016r.



rys. 7: Zdefiniowanie cech naturalnie występujących struktur i organizmów oraz przyporządkowanie ich do kategorii architektonicznych (FK - funkcji, FM - formy, KN - konstrukcji i EK - ekologii) przy jednoczesnym wskazaniu potencjalnych narzędzi do osiągnięcia wskazanego celu w architekturze.

Zgodnie z powyższym rysunkiem, stwierdzono następujące cechy świata natury, które mogą zostać zaimplementowane w projektowaniu architektonicznym:

1. **Optimalizacja formy - maksymalizacja funkcji.** W świecie natury forma podporządkowana jest przede wszystkim funkcji oraz – w drugiej kolejności – konstrukcji. Formalizm nie występuje. Forma sama w sobie jest zbędna jeżeli nie służy osiągnięciu założonego celu. Jeżeli nie posiada funkcji – zostaje w trybie ewolucji wyeliminowana. Następuje podporządkowanie formy maksymalizacji funkcjonalności struktury organizmu.
2. **Efektywność konstrukcyjna.** Konstrukcja jest optymalizowana tak, aby zmaksymalizować aspekty funkcjonalne. Naturalne konstruowanie zgodnie z zasadą strumienia sił pozwala zminimalizować zużycie materiału (zgodnie z zasadą: "mniej materiału - więcej projektowania"). Występuje racjonalne, oszczędne korzystanie z dostępnych materiałów.
3. **Adaptowalność.** Organizmy naturalne posiadają zdolność adaptowania się do zmieniających się warunków (np. atmosferycznych tj. ciśnienia, wiatru, opadów, nasłonecznienia). Zasadą jest tutaj redukcja "przeszytniania" konstrukcji na rzecz "giętkich", reagujących na działanie sił zewnętrznych struktur.
4. **Niskotemperaturowa produkcja materiałów.** Materiały tworzące naturalne struktury wytwarzane są niskotemperaturowo. Podczas ich wytwarzania nie występuje emisja CO2.
5. **Użycie materiałów biodegradowalnych.** Wszystkie występujące naturalnie materiały służące do budowy ekosystemów (biotopów i biocenoz) są biodegradowalne. Materiały tworzące naturalne struktury nie są toksyczne i ulegają pełnemu rozkładowi w naturalnych procesach biologicznych.

6. **Użycie materiałów wielofunkcyjnych.** Materiały tworzące naturalnie występujące struktury są wielofunkcyjne. Pełnią jednocześnie rolę konstrukcyjną, transportową, izolacyjną i.t.p. Przejmują naprężenia złożone (np. zginanie ze skręcaniem).
7. **Responsywność i sprężystość.** Naturalnie występujące struktury posiadają zdolność reagowania wobec zmian sił i czynników zewnętrznych. Reagują np. na kierunek wiatru bez zniszczenia swojej konstrukcyjnej struktury.
8. **Zamknięty obieg materiałów.** W środowisku naturalnym materiały funkcjonują w pętlach - w ramach zamkniętych cykli. Nie występują odpady. Substraty lub niezużyte produkty używane są jako zasoby lub ulegają naturalnej biodegradacji.
9. **Zróżnicowanie i spójność względem ekosystemu.** Elementy składowe ekosystemów są zróżnicowane, lecz ich połączenia funkcjonalne powodują jego spójność w ramach swojego habitatu.
10. **Pozyskanie wody w wyniku naturalnych procesów.** Organizmy w świecie natury pozyskują wodę w wyniku naturalnych procesów fizyko-chemicznych w tym za pomocą parowania i skraplania.
11. **Homeostaza.** Część naturalnie występujących organizmów posiada zdolność utrzymania stałej temperatury względem zmiennych czynników zewnętrznych.
12. **Pozyskanie energii ze słońca oraz procesów metabolicznych.** Źródłem energii dla poprawnego funkcjonowania natury (jej organizmów) jest słońce oraz metabolizm.
13. **Przekazywanie ciepła poprzez naturalne procesy fizyko-chemiczne.** Organizmy żywe przekazują ciepło przy użyciu promieniowania, parowania, konwekcji lub przewodzenia.
14. **Produkcja tlenu.** Dzięki chlorofilowi, natura produkuje tlen w procesie fotosyntezy z jednoczesnym pobieraniem CO₂ z atmosfery.
15. **Kooperacja celem pełnego wykorzystania habitatu.** Składowe danego systemu współpracują ze sobą celem pełnego wykorzystania ekosystemu i zapewnienia zysku wszystkim użytkownikom.
16. **Wysoka wydajność w pozyskiwaniu i użyciu energii.** Natura pozyskuje minimalne, niezbędne do zapewnienia swoich podstawowych potrzeb ilości energii. Występuje optymalizacja zużycia energii w związku m.in. ze zmianami klimatu.
17. **Lokalne pozyskiwanie zasobów i specjalizacja.** Zarówno materiały tworzące struktury naturalne jak i zasoby niezbędne do ich funkcjonowania pozyskiwane są lokalnie. Występuje lokalna specjalizacja struktur i funkcji
18. **Autopojetyka.** Występuje samoreplikowalność struktur i integracja rozwoju ze wzrostem.
19. **Tensegrity.** Występuje wzajemna stabilizacja elementów ściskanych i rozciąganych.

4. Cechy architektury biomimetycznej.

Na podstawie przeprowadzonej analizy materiałów źródłowych i badań oraz po przeprowadzonej analizie cech naturalnie występujących struktur i organizmów można sformułować zatem cechy biomimetycznego obiektu architektonicznego.

1. **Optimalizacja formy - maksymalizacja funkcji.** Forma obiektu architektonicznego podporządkowana jest przede wszystkim jego funkcji oraz (w drugiej kolejności) konstrukcji. Funkcja obiektu może być inspirowana naturalnie występującymi zależnościami funkcjonalnymi (zarówno w skali mikro jak i w skali makro). Funkcja obiektu architektonicznego została zaprojektowana tak, aby zoptymalizować pozyskanie i przetwarzanie energii (elektrycznej i ciepła).
2. **Biomorfizm.** Forma architektoniczna może naśladować formy występujące naturalnie celem nadania znaczenia (podkreślenia źródła inspiracji) obiektowi biomimetycznemu. Forma biomimetycznego obiektu architektonicznego jest responsywna - reaguje na zmieniające się zewnętrzne czynniki na nią wpływające (np. wiatr, ciśnienie, opady, nasłonecznienie). Forma obiektu architektonicznego lub jego części może być autopoietyczna (samoreplikowalna).
3. **Efektywność konstrukcyjna.** Konstrukcja jest optymalizowana tak, aby zmaksymalizować aspekty funkcjonalne. Naturalne konstruowanie zgodnie z zasadą strumienia sił pozwala zminimalizować zużycie materiału. Występuje racjonalne i oszczędne korzystanie z dostępnych materiałów. Konstrukcja może być inspirowana naturalnie występującymi (w skali mikro i skali makro) strukturami konstrukcyjnymi. Występuje wzajemna stabilizacja elementów ściskanych i rozciąganych (tensegrity). Optymalizacja przeciwstawiona jest unifikacji.
4. **Materiał.** Materiały konstrukcyjne i wykończeniowe obiektu architektonicznego wytworzone zostały niskotemperaturowo. Podczas ich wytwarzania ograniczono maksymalnie emisję CO₂. Zastosowano maksymalizację użycia materiałów biodegradowalnych (ulegających kompletnemu rozkładowi w naturalnych procesach biologicznych). Ograniczono lub wyeliminowano całkowicie zastosowanie materiałów toksycznych. Zastosowano materiały wielofunkcyjne (np. reagujące na zmianę natężenia oświetlenia zewnętrzne panele szklane) oraz przejmujące złożone naprężenia. Materiały funkcjonują w pętlach (w ramach zamkniętych cykli) zarówno na etapie produkcji, konstrukcji i dekonstrukcji obiektu.
5. **C2C.** Obiekt nie produkuje odpadów i nie wpływa negatywnie na swoje otoczenie. Dzieli się ewentualnymi nadwyżkami (np. energii elektrycznej). Wszelkie potencjalne odpady związane z funkcjonowaniem obiektu (np. plastik, papier, "szara woda") posiadają swoje miejsce we właściwej pętli cradle to cradle.
6. **Energia.** Obiekt nie używa energii pochodzącej z przetwarzania paliw kopalnych w swoim bilansie energetycznym. Energia do obiektu dostarczana jest za pomocą źródeł odnawialnych (energia wiatru, geotermia) lub nieskończonych (energia słoneczna). Obiekt wzorem metabolicznego pozyskiwania ciepła, uwzględnia w bilansie zyski wewnętrzne i eliminuje straty ciepła. Obiekt ogranicza zużycie energii do niezbędnego minimum dzięki zaawansowanym systemom sterowania oraz wykorzystując swoje usytuowanie w terenie oraz lokalizację względem lokalnego klimatu. Systemy instalacyjne obiektu wykorzystują naturalne zjawiska fizyko-chemiczne celem (np. promieniowania, parowania, konwekcji lub przewodzenia) celem dystrybucji i przekazania energii.
7. **Responsywność i adaptacja.** Obiekt architektoniczny (zasadniczo jego forma i konstrukcja) jest responsywny. Reaguje na zmiany otoczenia (nasłonecznienie, temperaturę, wilgotność powietrza, ciśnienie, wiatr etc.) celem adaptacji do zmiennych warunków.
8. **Woda.** Obiekt architektoniczny racjonalnie pozyskuje i gospodaruje wodą. Występuje wielopostaciowe magazynowanie wody deszczowej. Obiekt wykorzystuje naturalne zjawisko parowania i skraplania do produkcji lub / i odzysku wody.

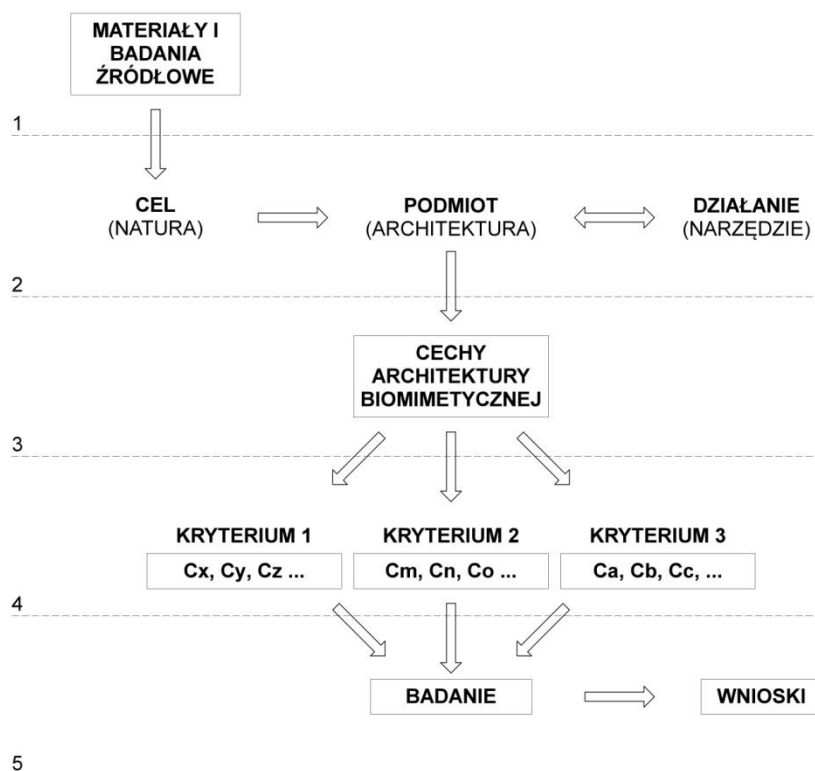
9. Tlen i emisja CO₂. Obiekt architektoniczny jednocześnie ograniczając emisję CO₂ bierze udział w lokalnej produkcji tlenu (przy jednoczesnej ekstrakcji CO₂ z atmosfery) poprzez propagację agrokultury miejskiej, permakultury.

10. Ekologiczna urbanizacja. Obiekt architektoniczny kooperuje celem pełnego wykorzystania swojego habitatu i zapewnienia zysku wszystkim jego użytkownikom. Zasoby pozyskuje lokalnie i jest lokalnie wyspecjalizowany.

5. Metodologia prowadzenia badania cech architektury biomimetycznej.

Zastosowano metodologię top-down celem opracowania kryteriów oceny cech architektury biomimetycznej i przeprowadzenia w tym zakresie badania. Metodologia ta zobrazowana została z pomocą poniższego schematu (rys.7), gdzie:

- Poziom 1 przedstawia etap analizy dostępnych materiałów źródłowych i badań (pkt. 3.1-3.11).
- Poziom 2 zakłada zdefiniowanie cech naturalnie występujących struktur i organizmów oraz przyporządkowanie ich do kategorii architektonicznych przy jednoczesnym wskazaniu potencjalnych narzędzi do osiągnięcia wskazanego celu w architekturze (pkt. 3.12).
- Poziom 3 obejmuje opracowanie cech architektury biomimetycznej (pkt. 4).
- Poziom 4 obejmuje opracowanie kryteriów badania na podstawie syntezy cech: Cx, Cm, Ca i.t.p. (pkt. 5.3).
- Poziom 5 obejmuje przeprowadzenie badania obiektu architektonicznego na podstawie opracowanych kryteriów celem jego kwalifikacji jako biomimetycznego lub nie oraz sformułowanie wniosków.



rys. 7: Przyjęta metodologia top-down procesu analizy danych pochodzących z materiałów i badań źródłowych celem sformułowania cech architektury biomimetycznej i opracowania kryteriów do jej badania.

5.1. Analiza danych historycznych.

W procesie badania analizowane będą dane o charakterze danych jakościowych przy założeniu określonej próby badawczej - konkursów architektonicznych z dziedziny architektury środowiska zrównoważonego oraz nagród architektonicznych, surowe, powstałe wtórnie po przeprowadzonej analizie wstępnej. Dane zostały zarejestrowane jednorazowo. Dane publiczne, obiektywne względem pochodzenia (źródła), poddane ocenie zgodnie z założonymi kryteriami.

5.2. Warunki brzegowe badania.

Podstawowym problemem nierozzerwalnie związanym z próbą określenia warunków brzegowych oraz kryteriów oceny biomimetyki w architekturze w środowisku zrównoważonym (dla zadanej podstawy badania) jest subiektywizm kryteriów i ocen, który to jest nierozzerwalny z każdym procesem analizy. Celem uzyskania możliwie miarodajnego wyniku oraz umożliwienia późniejszego uzupełnienia danych lub ich krytyki zdecydowano o podziale kryteriów oceny na cztery podstawowe dziedziny, w których zawarto zestaw cech, które to podczas prowadzenia badania zyskują swoje potwierdzenie lub zaprzeczenie. W zaistniałej sytuacji mnogość kryteriów oceny pozwala - zdaniem autora - na zbliżenie się do obiektywnego wyniku badania, który podlegać będzie podsumowaniu celem wyciągnięcia wniosków. W związku z przyjętą metodologią analizy danych historycznych, która zaczerpnięta została z socjologicznych metod badawczych - kryteria oceny oraz podstawa badania (dane bazowe) mogą być uzupełniane celem wykazania zmiany wyników w dodatkowym kryterium czasu dokonania analizy. Przyjęta aktualnie cezura czasowa obejmuje konkursy architektoniczne w zakresie konkursów architektury środowiska zrównoważonego w latach 2008-2018.

5.3. Opracowanie kryteriów oceny biomimetyki na podstawie zgromadzonych materiałów źródłowych.

Celem określenia punktu wyjścia do sformułowania kryteriów badania obiektów architektonicznych pod kątem zakwalifikowania ich jako biomimetycznych dokonano przyporządkowania cech opisanych w pkt. 4 do podstawowych cech obiektu architektonicznego rozumianego jako jedność funkcji (**FK**) formy (**FM**) i konstrukcji (**KN**). Odnotowano tym samym, że niezbędne jest wprowadzenie dodatkowego kryterium charakteryzującego gospodarkę energetyczną obiektu oraz jego stosunek do zużycia zasobów - (**EK**).

Kryteria powyższe podzielono na podstawowe - wewnętrzne, których synteza tworzy obiekt architektoniczny (**FK + FM + KN**) oraz dodatkowe - zewnętrzne, które stanowią uzupełnienie architektury obiektu (**EK**) i konstytuują obiekt jako zaprojektowany zgodnie zasadami zrównoważonego rozwoju. Celem uzupełnienia badania wykonano dodatkową analizę polegającą na wyszukaniu słów kluczowych autorskiego opisu obiektu architektonicznego lub opinii jury konkursowego w przypadku, w którym takie dane były dostępne.

Oznaczono cztery główne kryteriów analizy danych, które stanowią funkcja, forma i konstrukcja obiektu architektonicznego (co stanowi bezpośrednio odniesienie do witruińskiego: *firmitas, utilitas, venustas*) oraz dodatkowe kryterium cechujące obiekty architektoniczne powstające w środowisku zrównoważonym czyli ekologię (ekologiczność rozwiązań architektonicznych). Kryteria te podlegają ocenie (tj. potwierdzeniu lub zaprzeczeniu występowania) w tabeli badawczej. Naczelną zasadą jest ocena **1 (TAK)** lub **0 (NIE)** będące odpowiedzią na pytanie, czy oceniany obiekt architektoniczny spełnia wskazaną cechę w danym kryterium.

5.3.1. Kryteria podstawowe (wewnętrzne):

Kryteria podstawowe mają na celu określenie podstawowych cech konstytuujących obiekt architektonicznych jako biomimetyczny.

W kryterium formalnym (**FM**) wyodrębniono trzy cechy:

- **W_FM_1: Forma obiektu architektonicznego lub jego części wynika (naśladuje) z form występujących w środowisku naturalnym.**
- **W_FM_2: Forma obiektu architektonicznego lub jego części jest zmienna i ulega dostosowaniu do warunków zewnętrznych.**
- **W_FM_3: Forma obiektu architektonicznego lub jego części jest autopojetyczna (samoreplikowalna).**

W kryterium konstrukcyjnym (**KN**) wyodrębniono dwie cechy:

- **W_KN_1: Zastosowano biomimetykę do optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych:**
 - konstrukcja budynku posiada zdolność amortyzacji wpływu czynników zewnętrznych, która jest analogią do zaobserwowanej w środowisku naturalnym,
 - zastosowano metodę strumienia sił zaobserwowaną w środowisku naturalnym, występuje wzajemna stabilizacja elementów ściskanych i rozciąganych,
 - konstrukcja obiektu architektonicznego lub jego części została zoptymalizowana zgodnie z zasadami biomimetyki tak, aby zamierzony efekt uzyskać przy możliwie najniższym zużyciu materiałów,
 - struktura konstrukcyjna budynku jest inspirowana naturalnie występującymi strukturami.
- **W_KN_2: Do budowy obiektu architektonicznego lub jego części użyto materiałów pochodzenia naturalnego lub ich pochodnych wykonanych zgodnie z zasadami cradle to cradle (biodegradowalnych części organicznych lub w pełni przetwarzalnych elementów nie ulegających biodegradacji):**
 - do budowy budynku lub jego części wykorzystano lokalnie dostępne materiały budowlane pochodzenia naturalnego (np.: kamień, drewno, glinę etc.),
 - do budowy budynku lub jego części wykorzystano materiały ulegające całkowitej biodegradacji,
 - do budowy budynku lub jego części wykorzystano materiały budowlane, które mogą zostać poddane całkowitemu recyklingowi lub upcyclingowi,
 - do budowy obiektu architektonicznego lub jego części wykorzystano nowoczesne, w pełni biodegradowalne materiały będące pochodnymi materiałów naturalnych powstałe przy użyciu np. biologii syntetycznej (np.: biopolimery),
 - zastosowano wielofunkcyjne materiały budowlane.

W kryterium funkcjonalnym (**FK**) wyodrębniono dwie cechy:

- **W_FK_1: Układ funkcjonalny obiektu został zaprojektowany tak, aby zoptymalizować pozyskanie i konsumpcję energii:**
 - wykorzystanie siły i kierunku lokalnie występujących wiatrów (np. do wspomaganie systemu wentylacji budynku),
 - wykorzystanie energii słonecznej w kontekście usytuowania budynku względem stron świata,
 - wykorzystanie lokalnego ukształtowania terenu.
- **W_FK_2: Czytelne są analogie funkcjonalne pomiędzy układem funkcjonalnym budynku a naturalnie występującymi strukturami:**

- o układ funkcjonalny obiektu architektonicznego został zaprojektowany w sposób zainspirowany naturalnie występującymi strukturami skali mikro lub skali makro (wykorzystując np. zasadę hierarchiczności).

5.3.2. Kryteria dodatkowe (zewnętrzne):

- **Z_EK_1: W obiekcie zastosowano gospodarowanie odpadami zgodne z C2C:**
 - o obiekt nie produkuje odpadów i nie wpływa negatywnie na swoje otoczenie,
 - o dzieli się ewentualnymi nadwyżkami (np. energii elektrycznej),
 - o wszelkie potencjalne odpady związane z funkcjonowaniem obiektu (np. plastik, papier, "szara woda") posiadają swoje miejsce we właściwej pętli cradle to cradle.
- **Z_EK_2: Obiekt racjonalnie pozyskuje i gospodaruje energią:**
 - o obiekt nie używa paliw kopalnych w swoim bilansie energetycznym,
 - o energia do obiektu dostarczana jest za pomocą źródeł odnawialnych jak energia wiatru, geotermia lub nieskończonych jak energia słoneczna,
 - o obiekt wzorem metabolicznego pozyskiwania ciepła, uwzględnia w bilansie zyski wewnętrzne i eliminuje straty ciepła,
 - o obiekt ogranicza zużycie energii do niezbędnego minimum dzięki zaawansowanym systemom sterowania oraz wykorzystując swoje usytuowanie w terenie oraz lokalizację względem lokalnego klimatu,
 - o systemy instalacyjne obiektu wykorzystują naturalne zjawiska fizyko-chemiczne (np. promieniowania, parowania, konwekcji lub przewodzenia) celem dystrybucji i przekazania energii.
- **Z_EK_3: Obiekt jest responsywny i adaptuje się do zmieniających czynników zewnętrznych:**
 - o obiekt architektoniczny (zasadniczo jego forma i konstrukcja) jest responsywny: reaguje na zmiany otoczenia (tj.: nasłonecznienie, temperaturę, wilgotność powietrza, ciśnienie, wiatr etc.) celem adaptacji do zmiennych warunków.
- **Z_EK_4: Obiekt architektoniczny racjonalnie pozyskuje i gospodaruje wodą:**
 - o występuje wielopostaciowe magazynowanie wody deszczowej,
 - o obiekt wykorzystuje naturalne zjawisko parowania i skraplania do produkcji lub / i odzysku wody,
- **Z_EK_5: Tlen i emisja CO2:** obiekt architektoniczny jednocześnie ograniczając emisję CO2 bierze udział w lokalnej produkcji tlenu przy jednoczesnej ekstrakcji CO2 z atmosfery poprzez propagację **agrokultury miejskiej, permakultury**.
- **Z_EK_6: Ekologiczna urbanizacja:** obiekt architektoniczny kooperuje celem pełnego wykorzystania swojego habitatu i zapewnienia zysku wszystkim jego użytkownikom. Zasoby pozyskuje lokalnie i jest lokalnie wyspecjalizowany.

5.3.3. Kryteria uzupełniające

Celem uzupełnienia badania dokonano analizy, czy w dostępnych opisach prac konkursowych lub (jeżeli dane te były dostępne) w opiniach jury konkursu pojawiają się słowa z prefiksem "bio-". Celem było poszukiwanie *bio-mimetyki*, *bio-niki* lub słów pokrewnych, które wskazywałyby bezpośrednio na przeprowadzenie pod tym kątem analizy na etapie projektowania lub na fakt, iż biomimetyka rozwiązań architektonicznych jest czytelna dla jury konkursu.

5.4. Wnioski

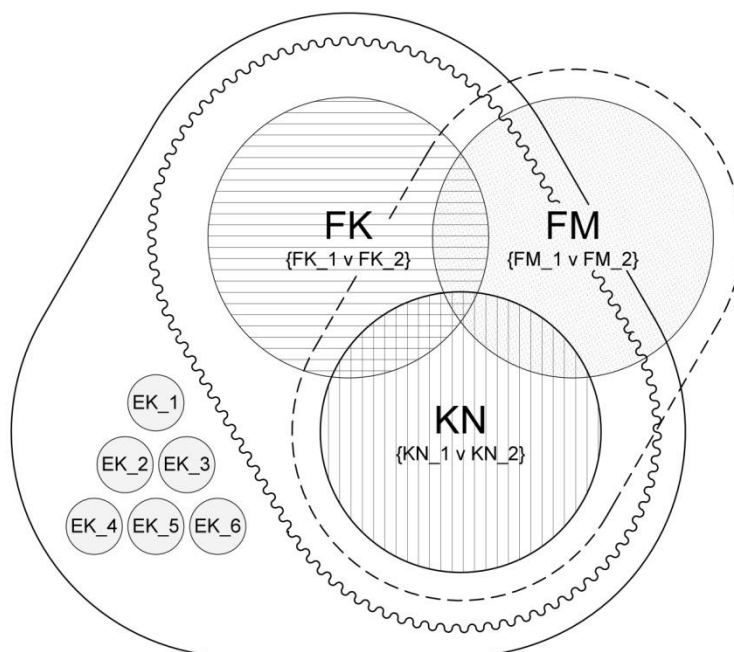
Po opracowaniu kryteriów oceny obiektów architektonicznych celem ich ewaluacji, podstawowym zdaniem jest określenie warunków brzegowych kwalifikacji w/w obiektu do dziedziny biomimetyki. Za Lebediewem oraz Pawlynem można – zdaniem autora niniejszej pracy – wyodrębnić inspirację formą występującą w środowisku naturalnym jako biomorfizm, a nie biomimetykę. Jak stwierdzono, natura nie kształtuje formy bez funkcji, a najbliższym - zdaniem autora niniejszej dysertacji - prawdy jest stwierdzenie, iż **natura konstruuje formę dla funkcji**. W związku z powyższym, forma w świecie natury jest wynikiem optymalizacji konstrukcyjnej oraz maksymalizacji funkcjonalnej. Biomorficzna forma może stanowić nośnik idei biomimetyki obrazując zasadę jakiej został poddany obiekt architektoniczny. Nie jest to jednak warunek wystarczający do zakwalifikowania obiektu architektonicznego jako biomimetycznego. Jednocześnie zwracam uwagę na fakt, iż to człowiek określa kategorie estetyczne (venustas) w zakresie formy. Natura pozbawiona jest ośrodka emocjonalnego, czy organu, który byłby w stanie określić co jest formą piękną, a co nią nie jest. Natura nie jest w stanie zadumać się nad oceną tworzonych przez siebie form. Nie podlegają one analizie są wynikiem nieświadomych procesów optymalizacji konstrukcyjnej, energetycznej i funkcjonalnej.

Zdaniem autora niniejszej dysertacji kryterium minimalnym (granicznym) więc do zakwalifikowania obiektu architektonicznego do dziedziny biomimetyki jest jednocześnie zastosowanie w projektowaniu architektonicznym dowolnej z par kryterium konstrukcyjnego oraz funkcjonalnego:

W_KN_1 + W_FK_1
W_KN_2 + W_FK_2
W_KN_1 + W_FK_2
W_KN_2 + W_FK_1

Zwracam uwagę na fakt, iż w w/w przypadku mówimy wciąż o obiekcie architektonicznym, który stanowi w zasadzie swojego istnienia o jedności funkcji, formy i konstrukcji. Forma architektoniczna w w/w przypadku wynikałaby z funkcji obiektu, jego konstrukcji lub połączenia obu tych czynników. Na uwagę zasługuje również w fakt, iż w praktyce projektowania architektonicznego, powyższe trzy składowe konstytuujące obiekt architektoniczny nie są traktowane rozłącznie. Decyzje konstrukcyjne mają wpływ na funkcję i formę obiektu, a spełnienie wymogów funkcjonalnych wpływa bezpośrednio na kształtowanie bryły budynku co jednocześnie przekłada się na jego konstrukcję i formę. W nawiązaniu do tematu niniejszej dysertacji, dokonujemy jednak w tym przypadku oceny uprzednio wykonanego projektu architektonicznego co jest powodem określenia niniejszych kryteriów. Zwracam też uwagę, że zgodnie z przyjętymi zasadami kwalifikacji, obiekty architektoniczne zrealizowane w latach ubiegłych i jednocześnie zakwalifikowane jako biomimetyczne spełniają w/w kryteria jedności funkcji i konstrukcji.

Za przykład może posłużyć tutaj opisywany uprzednio Seawater Greenhouse. Jest to projekt, którego forma architektoniczna nie jest biomorficzna. Mało tego, jego konstrukcja pierwotnie nie została zaprojektowana na podstawie inspiracji naturalnymi strukturami. Jest on jednak samowystarczalny energetycznie (energia elektryczna potrzebna do funkcjonowania obiektu dostarczana jest z odnawialnych źródeł), a funkcją obiektu jest produkcja słodkiej wody z odsalania bryzy morskiej występującej wzdłuż pustynnych wybrzeży np. Omanu lub Somalii, celem zmiany mikroklimatu i umożliwienia rolniczego wykorzystania nienadających się uprzednio do tego celu terenów. Obiekt zbudowany został z materiałów podlegających recydingowi zgodnie z zasadami cradle to cradle oraz z lokalnie dostępnych materiałów. Obiekt ten spełnia zatem kryterium FK_1 i KN_2.



rys. 8: Schemat kwalifikacji obiektu architektonicznego. Linia przerywana (KN + FM) obrazuje obiekt biomorficzny, linia falista (KN + FK) obrazuje obiekt biomimetyczny w spełniający kryteria minimalne, linia ciągła (KN + FK + EK) obrazuje obiekt w pełni biomimetyczny.

Jednocześnie, biomimetyczne kryterium dot. ekologii rozwiązań architektonicznych oraz sposobów pozyskiwania i gospodarowania energią (**EK**), jako dopełniające znaczenia dzieła architektonicznego stanowi uzupełnienie powyższych kryteriów obrazując projektowanie biomimetyczne w wariantcie maksymalnym:

$$W_{KN_1} + W_{FN_1} + \{W_{EK_1-6}\}$$

$$W_{KN_2} + W_{FN_2} + \{W_{EK_1-6}\}$$

$$W_{KN_1} + W_{FN_2} + \{W_{EK_1-6}\}$$

$$W_{KN_2} + W_{FN_1} + \{W_{EK_1-6}\} \text{ lub wszystkich powyższych cech łącznie.}$$

6. Przedmiot badania cech architektury biomimetycznej.

Przedmiot badania stanowią wybrane konkursy oraz nagrody architektoniczne. Wytypowano do badania 7 otwartych konkursów, w których udział mogli brać zarówno profesjonalni projektanci, jak i studenci architektury z całego świata. Kluczem wyboru konkursów było kryterium geograficzne organizacji konkursu tak, aby wskazać zróżnicowanie wykonanych prac. Kryterium podstawowym było zakwalifikowanie konkursu jako poruszającego tematykę architektury w środowisku zrównoważonym. Wybrano konkursy dot. projektowania budynków wysokich (eVolo, Emporis), konkursy architektoniczno-urbanistyczne (Futurarc) oraz m.in. konkursy z ograniczeniem czasu rozpoczęcia i zakończenia pracy (120h oraz 24h). Skupiono uwagę - również ze względu na dostępne materiały źródłowe - na konkursach organizowanych w Azji, Ameryce Północnej oraz Europie.

Celem uzupełnienia badania i dokonania dodatkowego sprawdzenia skuteczności metody i słuszności kryteriów, przedmiot badania uzupełniono o najważniejszą polską oraz europejską nagrodę architektoniczną - Nagrodę Roku SARP oraz Mies van der Rohe Award.

6.1. Konkursy architektoniczne:

6.1.1. Evolo Skyscraper

eVolo to czasopismo poświęcone architekturze i wzornictwu, koncentrujące się na postępach technologicznych, zrównoważonym rozwoju i innowacyjnym wzornictwie na miarę XXI wieku. *Naszym celem jest promowanie i omawianie najbardziej awangardowych pomysłów generowanych w szkołach i profesjonalnych studiach na całym świecie. Jest to medium do odkrywania rzeczywistości i przyszłości projektowania dzięki aktualnym wiadomościom, wydarzeniom i projektom.*¹²³ Konkurs eVolo Skyscraper jest wydarzeniem cyklicznym, organizowanym corocznie z otwartym zaproszeniem dla architektów, studentów, inżynierów, projektantów i artystów z całego świata. Założony w 2006 roku konkurs jest jedną z najbardziej prestiżowych nagród na świecie dla architektury wysokich budynków. Uznaje wybitne pomysły, które na nowo definiują projekty wieżowców poprzez wdrażanie nowatorskich technologii, materiałów, programów, estetyki i organizacji przestrzennych wraz z badaniami nad globalizacją, elastycznością, zdolnościami adaptacyjnymi i cyfrową rewolucją. Jest to forum, które bada związek między wieżowcem a światem przyrody, wieżowcem i społecznością oraz wieżowcem i miastem. Uczestnicy - zdaniem organizatorów - powinni wziąć pod uwagę postęp technologiczny, eksplorację zrównoważonych systemów oraz ustanowienie nowych miejskich i architektonicznych metod rozwiązywania gospodarczych, społecznych i kulturowych problemów współczesnego miasta, w tym niedoborów zasobów naturalnych i infrastruktury oraz wykładniczej wzrost mieszkańców, zanieczyszczenie, podział gospodarczy i nieplanowany rozwój miast.

Konkurs jest badaniem przestrzeni publicznej i prywatnej oraz rolą jednostki i kolektywu w tworzeniu dynamicznej i adaptacyjnej "społeczności pionowej". Jest to również odpowiedź na poszukiwanie i adaptację nowych siedlisk i terytoriów w oparciu o dynamiczną równowagę między człowiekiem, a naturą - nowy rodzaj responsywnego i adaptacyjnego projektu zdolnego do inteligentnego wzrostu poprzez samoregulację własnych systemów. Nie ma żadnych ograniczeń dotyczących strony, programu lub rozmiaru. Celem jest zapewnienie maksymalnej swobody uczestnikom, aby zaangażować projekt bez ograniczeń w najbardziej twórczy sposób. *Magazyn eVolo zobowiązuje się do dalszego stymulowania wyobraźni projektantów na całym świecie - myślicieli, którzy inicjują nowy architektoniczny dyskurs odpowiedzialności ekonomicznej, środowiskowej, intelektualnej i percepcyjnej, który może ostatecznie zmienić to, co rozumiemy jako współczesny wieżowiec, jego wpływ na planowanie urbanistyczne i w sprawie poprawy naszego sposobu życia.*¹²⁴ Stałymi członkami jury konkursu są między innymi wspomniani w niniejszej dysertacji Vincent Callebaut (Vincent Callebaut Architects) i Mitchell Joachim (Terreform ONE).

6.1.2. Laka ReActs

Laka to międzynarodowa sieć (w tym organizacji, firm i indywidualnych ekspertów) skupiająca się na skutkach społecznych powodowanych przez projektowanie i architekturę. Dzięki kompleksowej strategii i wsparciu Partnerów opracowuje projekty i programy, które podkreślają kluczową rolę architektury i technologii w procesie zmian społecznych. Laka Competition to międzynarodowy konkurs architektoniczny, który poszukuje innowacyjnych pomysłów, które wykraczają daleko poza typowe rozwiązania budowlane, są zaangażowane

¹²³ <http://www.evolo.us/about/>

¹²⁴ <http://www.evolo.us/category/competition/>

społecznie, zdolne do reagowania na nieprzewidywalne warunki (środowiskowe, naturalne, społeczne) i zapewniają bezpieczeństwo swoim mieszkańcom.¹²⁵

6.1.3. 120 hours

W 2010 roku troje studentów z Oslo School of Architecture and Design chciało stworzyć nową arenę, na której norwescy studenci mogliby przedstawić się w branży projektowej. Chcieli rzucić wyzwanie, zmotywować i promować najbardziej uzdolnionych, najbardziej innowacyjnych i zaangażowanych studentów w zawodzie architekta. W rezultacie odbył się konkurs studencki: *120 hours*.

120 godzin (*120 hours*) wprowadziło zupełnie nowy format konkursu, w którym studenci mają dokładnie tyle czasu na rozwiązanie złożonego i społecznie istotnego zadania. Odnosząc się do tematycznych dyskusji zarówno w debacie publicznej, jak i architektonicznej, celem konkursu jest przyczynianie się do rozwoju nowych idei i dyskusji w dyskursie społecznym i kulturowym. *120 hours* to niezależny konkurs organizowany na zasadach non-profit, dobrowolnie, bez udziału administracji szkolnej. Ma on na celu dać uczniom głos w obecnym dyskursie architektonicznym. Udział w *120 hours* daje uczniom możliwość zorganizowania pierwszego spotkania z konkursami architektonicznymi. Założeniem organizatorów jest danie młodym talentom w dziedzinie architektury przewagi na rynku. Obecnie konkurs ten stał się jednym z największych i najbardziej prestiżowych konkursów architektonicznych na świecie, stworzonym przez studentów i dla studentów architektury. Niektórzy z najbardziej znanych na świecie architektów są członkami jego jury [s24].

6.1.4. Architecture at zero

Konkurs *Architecture at zero* został pomyślany jako odpowiedź na cele dotyczące energii zerowej netto określone przez California Public Utility Commission (CPUC) w raporcie z 2008r.: *California's Long Term Energy Efficiency Strategic Plan*. W niniejszym raporcie CPUC określiła cztery strategie efektywności energetycznej dla Kalifornii, które obejmują cele, w nawiązaniu do których nowe budownictwo mieszkaniowe w Kalifornii będzie budownictwem ZNE¹²⁶ do 2020r. oraz nowe budownictwo komercyjne będzie budownictwem ZNE do 2030r. W 2011 roku Pacific Gas & Electric (PG&E) wraz z kluczowymi partnerami utworzyli konkurs *Architecture at Zero*, który miał być wyzwaniem ZNE dla wstępnie wybranej lokalizacji w Kalifornii. Przeprowadzono w następstwie tej decyzji badanie mające na celu stwierdzenie efektywności konkursu. Celem było zmierzenie jego wyników w oparciu o cztery kluczowe kryteria. Kryteria te obejmowały zaangażowanie docelowych odbiorców, kształcenie w zakresie praktyk projektowych ZNE, wyjaśnienie dlaczego i w jaki sposób powinny w/w praktyki projektowe powinny ulec ewentualnej zmianie, motywowanie do wspomnianej zmiany oraz propagowanie włączania zasad ZNE do realizacyjnych projektów budynków.

Aby ocenić postępy Konkursu w odniesieniu do tych kryteriów, zespół oceniający przeprowadził wywiady z pracownikami, którzy zarządzali stronami konkursu oraz jurorami i recenzentami technicznymi, którzy oceniali zgłoszenia. Zespół przeprowadził również ankiety wśród byłych i obecnych uczestników oraz opracował dogłębne studia przypadków czterech zespołów konkurujących ze sobą. Ponadto, zespół przeprowadził przegląd danych wtórnych (stron internetowych uczestników) aby przedstawić kontekst tła i trendy w branży projektowania architektonicznego. Konkurs jak dotąd odbył się w 3 edycjach i jest dobrze oceniany przez wszystkie zaangażowane strony od uczestników i jurorów do pracowników administracyjnych.

¹²⁵ <https://lakareacts.com/>

¹²⁶ Budynek o zerowej energii netto: budynek o zerowym zużyciu energii netto i zerowej emisji dwutlenku węgla rocznie.

Prace konkursowe będące przedmiotem analizy w ramach niniejszej pracy zostały wykonane w ramach kolejnych edycji konkursów:

- 2014: Jack London Gateway, Oakland, CA: Miejsce konkursu w 2014 roku składało się z dwóch sąsiednich działek, na których miała powstać mieszana zabudowa realizowana nad zabudową komercyjną. Działka nr 1 miała zostać opracowana jako przystępna cenowo architektura mieszkaniowa nad centrum opieki nad dziećmi lub kliniką zdrowia, działka nr 2 natomiast jako mieszkania deweloperskie nad usługami handlu spożywczego.
- 2015: UC San Francisco: Miejsce konkursu w 2015 roku należało do University of California - kampusu Mission Bay Campus w San Francisco, który miał zostać przekształcony w budynki mieszkalne wielorodzinne z przestrzeniami handlowymi, usługami dla lokalnej społeczności i tzw. usługami wsparcia w parterze.
- 2016: San Francisco State University: Konkurs na konkurs w 2016 r. polegał na stworzeniu projektu mieszkaniowego dla studentów ZNE na kampusie Uniwersytetu Stanowego w San Francisco [s25].

6.1.5. The density competition

Misją *The density competition* jest poprawa warunków życia na świecie poprzez architekturę i budownictwo. Shelter Global - organizator konkursu - to interdyscyplinarna organizacja non-profit, której celem jest zapewnienie bezpiecznych, czystych warunków życia dla wszystkich. Nieodpowiednie schronienie ma bezpośredni związek z cyklem ubóstwa i może mieć duży wpływ na zdrowie, bezpieczeństwo i dobrobyt. Celem organizacji jest szerzenie wiedzy na temat dużego odsetka światowej populacji żyjącej w niekorzystnych warunkach. Rozprzestrzenienie tej świadomości poprzez konkurs stworzyć ma nowe pomysły, jak rozwiązać światowy kryzys schronienia [s26].

6.1.6. FuturArc Prize

Konkurs *FuturArc* oferuje platformę dla profesjonalistów i studentów, którzy pasjonują się środowiskiem. Dzięki sile wyobraźni dąży do uchwycenia wizji zrównoważonej przyszłości. Azjatyckie miasto rośnie z dnia na dzień. Wszędzie tam, gdzie kondensacja jest nieplanowana i niedostatecznie regulowana, istnieje poczucie przytłaczającego zatłoczenia i zwiększonego postrzegania ryzyka. Miasto odczuwa się jako mniej otwarte, a przestrzenie publiczne są tracone. Jest mniej wody i zieleni, którymi można się dzielić. W *hipergęstym* mieście najbardziej cierpią ubodzy. Niewystarczające są inwestycje w infrastrukturę zasobów i mobilność, szczególnie na obszarach o niskich dochodach. Istnieje zbyt mało możliwości zarabiania na życie. Gęstość może być jednak okazją. Kompaktowe miasto może być energetyczne i energiczne, a firmy i handel mogą rozwijać się na dużej bazie konsumentów. Kultura miejska wyłania się organicznie, tworząc żywe poczucie miejsca.

Celem konkursu *FuturArc* jest zbadanie, co to znaczy żyć w *hipergęstym* mieście w Azji (które ma nie mniej niż 100 000 osób na kilometr kwadratowy). Ideą jest dążenie do równowagi i wzajemności. Budynków w tym kontekście nie można postrzegać w izolacji - muszą angażować się w logikę sąsiedztwa. Odrębne dzielnice muszą zostać wykorzystane i przyczynić się do budowy zrównoważonego miasta. Produkcja i dystrybucja energii, wody, żywności muszą być zdecentralizowane. Sieci związane z ruchem ludzi i różnorodnością biologiczną muszą zostać zunifikowane. Ale jak to się robi? Jaka jest właściwa kombinacja działań i programów? W jaki sposób nowe sąsiedztwo wpisuje się w miejski system, który już istnieje? Jakie nowe systemy wprowadza to w obraz całej struktury? Jak wygląda

hipergęstość? Celem konkursu jest wybranie działki w mieście w Azji o wielkości około 1 km² i przeprojektowanie jej w taki sposób, aby nie mniej niż 100 000 osób mogłoby ją zamieszkiwać lub / i pracować na tym terenie. Całkowity obszar zabudowany w obrębie tego terenu nie powinien być mniejszy niż 2,5 miliona m². Przeprojektowane sąsiedztwo musi spełniać następujące wymagania:

- wytwarzać energię, wodę i żywność,
- oferować włączającą i dostępną przestrzeń publiczną dla wszystkich grup społecznych,
- oferować przestrzeń dla gatunków innych niż ludzie i wykonywać usługi związane z utrzymaniem całego ekosystemu,
- angażować więzi społeczne i kulturalne [s27].

6.1.7. Emporis Skyscraper Award

Emporis Skyscraper Award to najbardziej prestiżowa nagroda architektoniczna przyznawana dla trzech najbardziej unikatowych, funkcjonalnych oraz estetycznych wieżowców w danym roku kalendarzowym. Wyróżnia tylko budynki mające powyżej 100m wysokości. Nominacje oraz zwycięzcę nieprzerwanie od 2000 r. nadaje biuro Emporis – globalny dostawca informacji, gromadzący dane o budynkach mających istotne znaczenie publiczne i gospodarcze, łączący te dane z przedsiębiorstwami związanymi z budynkami oraz wyznaczający standardy informacyjne w tym zakresie [s28].

6.2. Nagrody architektoniczne:

6.2.1. Nagroda roku SARP

Nagroda Roku SARP – nagroda przyznawana przez Stowarzyszenie Architektów Polskich autorowi lub autorom za wybudowany na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i oddany do użytku w minionym roku kalendarzowym obiekt lub zespół obiektów o znaczących wartościach historycznych. Uważana za najbardziej prestiżowe wyróżnienie architektoniczne przyznawane obiektom w Polsce [s29].

6.2.2. Mies van der Rohe Award

Pomysł na nagrodę, która uznałaby i propagowała doskonałość w architekturze europejskiej, został zaproponowany Parlamentowi Europejskiemu przez Xaviera Ruberta de Ventósa. W dniu 28 kwietnia 1987r. (w rok po zakończeniu rekonstrukcji Pawilonu autorstwa Miesa van der Rohe w Barcelonie) podpisano porozumienie między komisarzem europejskim Carlo Ripa di Meana i burmistrzem Barcelony Pasqualem Maragellem w sprawie uruchomienia Nagrody Mies van der Rohe Wspólnot Europejskich. Pierwsza edycja konkursu odbywającego się co dwa lata miała miejsce w 1988 r. jako "Mies van der Rohe Award for European Architecture". Po przyjęciu propozycji Fundacji im. Miesa van der Rohe, w 2001 r. Nagroda im. Miesa van der Rohe stała się oficjalną nagrodą Unii Europejskiej w dziedzinie [s30].

Architektura to powolny proces, który dostosowuje się do zmian społecznych, politycznych i gospodarczych. Nagroda im. Miesa van der Rohe bierze pod uwagę to stwierdzenie i dąży do następujących celów:

- *uznanie i uhonorowanie doskonałości w architekturze europejskiej pod względem pojęciowym, społecznym, kulturowym, technicznym i konstrukcyjnym,*
- *podkreślenie europejskiego miasta jako modelu zrównoważonego miasta inteligentnego, przyczyniającego się do zrównoważonej gospodarki europejskiej,*

- *promowanie ponadnarodowych komisji architektonicznych w całej Europie i poza jej granicami,*
- *zwiększenie aktywności specjalistów z dziedziny architektury z państw członkowskich UE i krajów, które zawierają umowę z UE,*
- *pielęgnowanie ewentualnych kontaktów przyszłych klientów i promotorów architektury,*
- *znalezienie możliwości biznesowych na szerszym rynku globalnym*
- *podkreślenie zaangażowania Unii Europejskiej we wspieranie architektury jako ważnego elementu, który odzwierciedla zarówno różnorodność europejskiej ekspresji architektonicznej, jak i jej rolę jako elementu łączącego dla zdefiniowania wspólnej kultury europejskiej¹²⁷.*

Celem Nagrody jest również promowanie i zrozumienie znaczenia jakości oraz odzwierciedlenie złożoności znaczenia Architektury pod względem osiągnięć technologicznych, konstrukcyjnych, społecznych, ekonomicznych, kulturowych i estetycznych.

7. Badanie cech architektury biomimetycznej.

Badanie wykonano w pięciu kolejno następujących po sobie etapach. W etapie pierwszym przygotowano tabelę główną obrazującą maksymalną ilość obiektywnych, możliwych od uzyskania danych związanych z przedmiotem badania (konkursami architektonicznymi). Określono datę powstania pracy, nagrodę, którą dana praca otrzymała, kraj pochodzenia jej autora, tytuł pracy oraz tam, gdzie dane te mogły zostać pozyskane – kod pracy nadany jej przez autora. Całość danych uzupełniono o informację, czy autor pracy jest studentem architektury czy też profesjonalistą w tej dziedzinie. Etap drugi polegał na ewaluacji kolejnych obiektów architektonicznych (tematu prac konkursowych) i przyporządkowaniu w odpowiedniej rubryce „0” dla kryterium nie spełnionego i „1” dla kryterium spełnionego zgodnie z oceną prowadzącego badanie. W pierwszej kolejności oceniono kryterium formalne (W_FM_1, W_FM_2 oraz W_FM_3) tak, aby z założenia aspekty formalne i zbieżność formy architektonicznej z naturalnie występującą nie zaburzyła ewaluacji w kolejnych etapach. Etap trzeci obejmował ocenę kolejno następujących po sobie w tabeli głównej obiektów w ramach oceny „0” i „1” dla kolejnych kryteriów (W_FK_1-2, W_KN_1-2, Z_EK_1-6). Odnotowano i oznaczono w w/w tabeli prace konkursowe, które sformułowano jako manifesty nie mogące podlegać ewaluacji z uwagi na swoją formę oraz brak danych, które mogłyby podlegać ocenie. Analogicznie odniesiono się do jednostkowo występujących prac z dziedziny urbanistyki. Jednocześnie ograniczono „próbę badawczą”, która stanowiła 307 prac konkursowych do 226 prac poprzez wyłączenie z początkowego zakresu badania konkursu European. Konkurs ten z uwagi na skalę w jakiej opracowane zostały prace (skala urbanistyczna) nie mógł podlegać ocenie zgodnej z założonymi kryteriami. Komentarz w stosunku do ewaluacji konkursów urbanistycznych został zawarty w części dot. podsumowania badania (pkt. 8). W etapie czwartym nastąpiło ponowne przeanalizowanie prac, które wyróżniono jako spełniające minimalne kryteria biomimetyki tj. dowolnej pary ze zbiorów {W_FK_1, W_FK_2} oraz {W_KN_1, W_KN_2}. Dokonano ponownej oceny i zredukowano ilość spełniających minimalne kryteria biomimetyki prac konkursowych z 98 do 95. Etap piąty objął wyodrębnienie spełniających powyższe kryterium prac w odrębnej tabeli (tabela szczegółowa) oraz sformułowanie na tej podstawie tabeli badawczej obrazującej podsumowanie badania w kilku przedstawionych poniżej aspektach.

Ewaluację kryteriów biomimetyki opracowanych w punktach 5.3.1 oraz 5.3.2 niniejszej dysertacji wskazano w tabeli nr 3 – tabeli głównej ewaluacji kryteriów biomimetyki. Karty obiektów ocenianych, które odpowiadają oznaczeniom z tabeli nr 3 zawarto w aneksie do niniejszej pracy. Tabelę zaopatrzone w legendę pozwalającą na odczytanie zawartych w niej danych. Spełnienie minimalnych kryteriów kwalifikacji podkreślono poprzez ich wytłuszczenie w tabeli ewaluacji.

¹²⁷ <https://www.miesarch.com/about-the-prize/>

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

L.P.	OZN. KARTY KONKURSU	KONKURS NAGRODA	KRAJ ORG. KONKURSU	DATA OPR.	M-CE / NAGRODA	TYTUŁ PRACY	ID PRACY	NARODOWOŚĆ AUTORA / AUTORÓW	PROFESJONALISTA / STUDENT	KRYTERIA OCENY (WG OPISU METODOLOGII BADAN)												SPEŁNIENIE MINIMALNEGO WARUNKU KWALIFIKACJI	OPIS (wskazanie słów z prefiksem bio- odnotowanych w opisach prac konkursowych)			
										FM			FK		KN		EK									
										W_FM_1	W_FM_2	W_FM_3	W_FK_1	W_FK_2	W_KN_1	W_KN_2	Z_EK_1	Z_EK_2	Z_EK_3	Z_EK_4	Z_EK_5			Z_EK_6		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X			
1	eVolo_2008_1	Evo Scyscrapers	USA	2008	1	Layered Interiorities	0152	USA	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	-		
2	eVolo_2008_2				2	Skyscraper in Singapore	0102	USA	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	-	
3	eVolo_2008_3				3	Coastal Fog Skyscraper	0283	Chile	S	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	-
4	eVolo_2009_1			2009	1	Neo-Arc	0628	USA	S	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
5	eVolo_2009_2				2	Living Bridge	0316	Francja	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-	
6	eVolo_2009_3				3	Vertical Farm	0564	USA	S	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biomechanical	
7	eVolo_2010_1			2010	1	Vertical Prison	0892	Malezja	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	-	
8	eVolo_2010_2				2	Water Purification Skyscraper in Jakarta	0357	Indonezja	S	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	-	
9	eVolo_2010_3				3	Nested Skyscraper in Tokyo	0755	USA	S	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	-	
10	eVolo_2011_1			2011	1	LO2P: Delhi Recycling Center	0212	Francja	S	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biofuels	
11	eVolo_2011_2				2	Flat Tower	1112	Francja	S	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	-	
12	eVolo_2011_3				3	Re-imagining the Hoover Dam	0165	UK	S	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	-	
13	eVolo_2012_1			2012	1	Himalaya Water Tower	0165	Chiny	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	-	
14	eVolo_2012_2				2	Mountain Band-Aid	0350	Chiny	S	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
15	eVolo_2012_3				3	Monument to Civilization: Vertical Landfill for Metropolises	0546	Tajwan	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-
16	eVolo_2013_1			2013	1	Polar Umbrella Buoyant Skyscraper Protects and Regenerates the Polar Ice Caps	0480	USA	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	-	
17	eVolo_2013_2				2	Phobia Skyscraper Revitalizes Paris Suburbs	0201	Francja	S	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	-	
18	eVolo_2013_3				3	Light Park Floating Skyscraper	0208	Chiny	S	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	-	
19	eVolo_2014_1			2014	1	Vernacular Versatility	0302	USA	S	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-	
20	eVolo_2014_2				2	Car And Shell Skyscraper: Or Marinetti's Monster	0697	USA	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
21	eVolo_2014_3				3	Propagate Skyscraper: Carbon Dioxide Structure	0612	Kanada	S	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	-
22	eVolo_2015_1			2015	1	Essence Skyscraper	0307	Polska	S	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-
23	eVolo_2015_2				2	Invisible Perception: Shanty-Scaper	0131	Indie	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	-

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

24	eVolo_2015_3	Laka ReActs	POLSKA	2015	3	Cybertopia: Future of an Architecture Space, Death of Analogous Cities	0019	Rosja	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-				
25	eVolo_2016_1			2016	1	New York Horizon	0579	USA	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
26	eVolo_2016_2				2	The Hive: Drone Skyscraper	0577	USA	S	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	-		
27	eVolo_2016_3				3	Data Skyscraper: Sustainable Data Center In Iceland	0356	Włochy	S	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	-		
28	eVolo_2017_1			2017	1	Mashambas Skyscraper	0440	Polska	S	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	-			
29	eVolo_2017_2				2	Vertical Factories in Megacities	0323	USA	S	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-		
30	eVolo_2017_3				3	Espiral 3500	0028	Hiszpania	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-			
31	eVolo_2018_1			2018	1	Skyshtelter.zip: Foldable Skyscraper for Disaster Zones	0603	Polska	S	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	-		
32	eVolo_2018_2				2	Shinto Shrine / Urban Rice Farming Skyscraper	0329	Hong Kong	S	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	-		
33	eVolo_2018_3				3	Waria Lemuy: Fire Prevention Skyscraper	0338	Chile	S	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	biodiversity		
34	Laka_2015_1	Laka ReActs	POLSKA	2015	1	Fluid Architecture	0084	Kanada	P	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	biotechnologies		
35	Laka_2015_2				2	Alveous	0012	Pakistan	P	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	-		
36	Laka_2015_3				3	Genesis of Human Hive	0041	Korea Pld.	P	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-			
37	Laka_2016_1			2016	1	Snapping Facade	0104	USA	P	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-		
38	Laka_2016_2				2	Suburban Swell	0112	USA	P	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	-		
39	Laka_2016_3				3	URBAN OASIS: synergetic, living prototypes	0101	Austria	P	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	biotic, biosphere	
40	Laka_2017_1			2017	1	CIVILIZATION 0.000: Floating power station, offshore wind, wave & tidal energy	0105	Szwajcaria	P	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	-		
41	Laka_2017_2				2	noMad	0122	Niemcy / UK	P	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	-		
42	Laka_2017_3				3	Towards a lively architecture	0113	USA	P	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	-	
43	Laka_2018_1			2018	1	Tidal Terrains	0043	USA	P	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	-		
44	Laka_2018_2				2	Embodied Homeostasis	0089	Austria	P	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-	
45	Laka_2018_3				3	The Platform of Motion	0140	USA	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	-	
46	120h_2011_1			irs	GIA	2011	1	Urban Cultivation	11163	b/d	S	wyłączono z badania - instalacja rzeźbiarska											-			
47	120h_2011_2						2	b/d	b/d	S	wyłączono z badania - kolarz											-				
48	120h_2011_3						3	b/d	4849	b/d	S	wyłączono z badania - projekt ogrodu											-			
49	120h_2012_1					2012	1	Crossing the courtyard	47006	b/d	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	-
50	120h_2012_2						2	Pollinated privacy	b/d	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-
51	120h_2012_3a						3x	Another layer and the charged void	47544	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
52	120h_2012_3b	3x	Hide and seek				52472	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-		
53	120h_2013_1	2013	1			b/d	43177	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
54	120h_2013_2		2			The Geiranger hug promenade	65060	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
55	120h_2013_3a		3x			1 City / 2 Scales	47601	b/d	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
56	120h_2013_3b		3x			Geiranger deep dock	48418	b/d	S	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-		

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

57	120h_2014_1	120 hou	NORWEC	2014	1	ARCHITECTURE	3421	Kanada	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-						
58	120h_2014_2				2	Music starts	1440	Włochy	S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	-				
59	120h_2014_3				3	The greenest red festival	1965	PL / FR / RO	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
60	120h_2015_1			2015	1	remember work?	1843	Szwecja	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
61	120h_2015_2				2	AXIS OF PYRAMIDEN	2815	Czechy	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
62	120h_2015_3				3	The Frozen Dream of Pyramiden	1404	Chiny	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
63	120h_2016_1			2016	1	the last space without function	2896	Szwajcaria	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
64	120h_2016_2				2	Florilegium	1196	Belgia	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
65	120h_2016_3				3	Dichotomy	1856	Polska	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
66	120h_2017			2017	-	in`n`out village	5056	Polska	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
67	120h_2018_1			2018	-	ATTENTION!	7709	Rosja	S	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-				
68	120h_2018_2				-	Odyssey	8215	Grecja	S	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-				
69	120h_2018_3				-	A fugitive room for interaction	7259	Francja	S	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-				
70	A at 0_2014_1			Architecture at zero	CA / USA	2014	HA	Embracing limits	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	-		
71	A at 0_2014_2						HA	Symbiosis	-	Kanada	P	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biomass
72	A at 0_2014_3						MR	Gateway residences	-	USA	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	-		
73	A at 0_2014_4						MR	The Wave	-	Dania	S	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biodiversity
74	A at 0_2014_5						SR	Flourish	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	-	
75	A at 0_2015_1	2015	CA			Alveo	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	-				
76	A at 0_2015_2		CA			Breeze block	-	USA	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-				
77	A at 0_2015_3		CA			Transformer	-	USA	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-				
78	A at 0_2015_4		HA			Conspicuous consumption	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	-				
79	A at 0_2015_5		HA			Estuary	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-				
80	A at 0_2015_6		SR			Zero emission	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	-				
81	A at 0_2016_1	2016	CA			Piezein circuit	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-				
82	A at 0_2016_2		HA			Energized canopy	-	Francja	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	biomass				
83	A at 0_2016_3		MR			Fog catcher	-	Francja	P	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	biomimicry				
84	A at 0_2016_4		MR			Nexus	-	Kanada	P	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	bioswale			
85	A at 0_2016_5		MR			Communal operations	-	USA	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	-				
86	A at 0_2016_6		SR			Sharing & Living	-	Taiwan	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	biogas				
87	Density_2015_1	2015	1			Urukundo	15-62058	UK / Italy	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	biogas				
88	Density_2015_2		2	Mapping	15-62146	Australia	P	wyłączono z badania - manifest artystyczny														-						
89	Density_2015_3		3	Aqua Comunity	15-62129	South Korea / Hawaii	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	-						
90	Density_2015_4		SM	Equahabitat	15-63043	Ekwador / Kolumbia	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	-						
91	Density_2015_5		SM	Retrofitting	15-63111	Turcja	P	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	-						
92	Density_2015_6		SM	Self Regenerating	15-63171	Hiszpania	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny														-						
93	Density_2015_7		SM	Sol	15-63012	USA	P	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	-						
94	Density_2015_8		SM	Taming Density	15-63012	Syria	P	wyłączono z badania - projekt konceptualny														-						
95	Density_2015_9		SM	YouPot PooPot	15-63160	Australia	P	wyłączono z badania - projekt konceptualny														-						

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

ID	Case Name	Year	Country	Type	Criteria														Outcome			
					C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14				
96	Dencity_2016_1	2016	1 Versova Koliwada	Indie	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	bioinvasion	
97	Dencity_2016_2		2 Incremental Alex	USA	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
98	Dencity_2016_3		3 Allometric Sake	USA	P	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	-	
99	Dencity_2016_4		SM We_Are_Europe	16-1290 RPA	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny														-		
100	Dencity_2016_5		SM Kampung Value	16-1709 Australia	P	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	-		
101	Dencity_2016_6		SM Access To Opportunity	16-1589 Kolumbia	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny														-		
102	Dencity_2016_7		SM Aqua Infrastructure	16-2137 USA	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
103	Dencity_2016_8		SM Informbile	16-2139 USA	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	
104	Dencity_2016_9		SM Spacepace	16-2191 USA	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
105	Dencity_2017_1		2017	1 Right to Water	USA	P	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	-	
106	Dencity_2017_2	2 Beyond Slums		17-4805 UAE / Turcja / USA	P	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	-		
107	Dencity_2017_3	3 Flood Resilience		17-4094 Francja	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	biologically		
108	Dencity_2017_4	SM Residius		17-3566 USA	P	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	-		
109	Dencity_2017_5	SM Mumbai		17-3611 Indie / Polska	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny														-		
110	Dencity_2017_6	SM UP3		17-3663 Chiny / Koreka / Indie / Peru	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
111	Dencity_2017_7	SM Resistance Through Form		17-4290 USA	P	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-	
112	Dencity_2017_8	SM Arrival Market		17-4466 Belgia	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
113	Futurarc_2008_1	2008	MA b/d	-	Indonezja	P	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	-		
114	Futurarc_2008_2		SA b/d	-	Indonezja	P	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	-		
115	Futurarc_2008_3		SA b/d	-	Indonezja	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
116	Futurarc_2008_4		MA b/d	-	Singapur	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	-	
117	Futurarc_2008_5		SA b/d	-	Singapur	S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	-	
118	Futurarc_2008_6		SA b/d	-	Singapur	S	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	-	
119	Futurarc_2009_1	2009	1 Green eco ceramics	-	Vietnam	P	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	-	
120	Futurarc_2009_2		2 Land_ARK	-	Singapur	P	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	biofilter	
121	Futurarc_2009_3		3x Revitalise a Forgotten Land	-	UK	P	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	biofuel	
122	Futurarc_2009_4		3x Green slope 1	-	UK	P	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
123	Futurarc_2009_5		1 Bamboo Community Hub	-	Vietnam	S	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
124	Futurarc_2009_6		2x We-Generate	-	Singapur	S	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	biomass	
125	Futurarc_2009_7		2x Project	-	Argentyna	S	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	bioclimatic	
126	Futurarc_2009_8		3 Community Hub - Fast Forward	-	Vietnam	S	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
127	Futurarc_2010_1	2010	1 Urban Tree-House	-	Singapur	P	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
128	Futurarc_2010_2		2 R4 Apartments	-	Singapur	P	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	bioclimatic	
129	Futurarc_2010_3		3x Oasis Social Housing	-	Indonezja	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biopory	
130	Futurarc_2010_4		3x Eco(fit)home	-	Singapur	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
131	Futurarc_2010_5		1 Urban Gene Therapy	-	Hong Kong	S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	-	
132	Futurarc_2010_6		2 Fishery Neighborhood in Bang-Bao	-	Tajlandia	S	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	-	
133	Futurarc_2010_7		3x Shanghai alleyments	-	Australia	S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

170	Futurarc_2017_1	Emporis Skyscraper Award	NIEMCY	2017	1	Urban plug-in module	-	Francja	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										-				
171	Futurarc_2017_2				2	Jakarta diet program	-	Indonezja	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										-				
172	Futurarc_2017_3				3	Cityscape remediation as catalyst	-	Indonezja	P	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
173	Futurarc_2017_4				1	Poro(city)	-	Indonezja	S	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	biodiversity	
174	Futurarc_2017_5				2	The forgotten network	-	Wietnam	S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	bionet
175	Futurarc_2017_6				3	Transistory Architecture	-	Indonezja	S	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										biogas				
176	Futurarc_2018_1			2018	1	Reviewing the thousand rivers	-	Indonezja	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	bioponic
177	Futurarc_2018_2				2	Jakarta suymbiotic platform	-	Indonezja	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										biophylic				
178	Futurarc_2018_3				3	Khlong Park	-	Indonezja / Singapur	P	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										biophylic				
179	Futurarc_2018_4				1	Lines	-	Indonezja	S	wyłączono z badania - projekt urbanistyczny										bioretention				
180	Futurarc_2018_5				2	Bio-necropolis	-	Wietnam	S	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	bionecropolis
181	Futurarc_2018_6				3	Social infrastructure for resilient	-	Indie	S	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-
182	Emporis_2008_1			2008	1	Mode Gakuen Cocoon Tower	-	Japonia	P	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-
183	Emporis_2008_2				2	Boutique Monaco (Seoul)	-	Korea Pld.	P	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	-
184	Emporis_2008_3				3	World Financial Center	-	USA	P	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-
185	Emporis_2008_1			2009	1	Aqua	-	USA	P	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-
186	Emporis_2009_2				2	0-14	-	USA	P	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	-
187	Emporis_2009_3				3	The Met	-	Singapur	P	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	-
188	Emporis_2010_1	2010	1	Hotel Porta Fira	-	Korea Pld.	P	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	-		
189	Emporis_2010_2		2	Burj Khalifa (Dubai)	-	USA	P	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	-		
190	Emporis_2010_3		3	CMA CGM Tower (Marsille)	-	Irak	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-		
191	Emporis_2011_1	2011	1	8 Spruce Street (USA)	-	USA	P	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-		
192	Emporis_2011_2		2	Al Hamra Tower (Kuwejt)	-	USA	P	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	-		
193	Emporis_2011_3		3	Etiihad Towers (UAE)	-	Australia	P	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	-		
194	Emporis_2012_1	2012	1	Absolute World 1 (Canada)	-	Kanada / Chiny	P	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	-		
195	Emporis_2012_2		2	Al Bahr Towers (UAE)	-	Wielka Brytania	P	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-		
196	Emporis_2012_3		3	Burj Qatar (Katar)	-	Francja	P	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	-		
197	Emporis_2013_1	2013	1	The Shard	-	Włochy	P	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	-		
198	Emporis_2013_2		2	DC Tower 1	-	Francja	P	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	-		
199	Emporis_2013_3		3	Sheraton Huzhou Hot Spring Resort	-	Chiny	P	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	-		
200	Emporis_2014_1	2014	1	Wangjing SOHO	-	Irak	P	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	-		
201	Emporis_2014_2		2	Bosco Verticale	-	Włochy	P	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	-		
202	Emporis_2014_3		3	Tour D2	-	Francja	P	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	-		
203	Emporis_2015_1	2015	1	Shanghai Tower	-	Chiny	P	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	-		
204	Emporis_2015_2		2	Evolution Tower (Russia)	-	Wielka Brytania	P	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	-		
205	Emporis_2015_3		3	Il Dritto (Milan)	-	Japonia / Włochy	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	-		
206	Emporis_2016_1		1	VIA 57 West (USA)	-	Dania	P	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	-		

tab. 3: Tabela główna ewaluacji kryteriów biomimetyki

207	Emporis_2016_2		2016	2	Torre Reforma (Mexico City)	-	Meksyk	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	-	
208	Emporis_2016_3			3	Oasia Hotel Downtown	-	Singapur	P	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
209	Emporis_2017_1			1	Lotte World Tower	-	Korea Płd.	P	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
210	Emporis_2017_2		2017	2	Generali Tower	-	Włochy	P	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
211	Emporis_2017_3			3	150 North Riverside	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	-		
212	SARP_2008_1	Nagroda honorowa SARP	POLSKA	2008	GP	Muzeum Wsi Opolskiej	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
213	SARP_2009_1			2009	GP	D.H. Renoma we Wrocławiu	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
214	SARP_2010_1			2010	GP	Osiedla Książęce, Katowice, ul. Piotrowicka / Książęca	-	Polska	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	-
215	SARP_2011_1			2011	GP	Centrum Geoedukacji w Kielcach	-	Polska	P	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-
216	SARP_2012_1			2012	GP	Europejskie Centrum Muzyki Krzysztofa Pendereckiego	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	-
217	SARP_2013_1			2013	GP	Muzeum Historii Żydów Polskich	-	Polska	P	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-
218	SARP_2014_1			2014	GP	Muzeum Tadeusza Kantora i siedziba ODS Kantora: "Cricoteka"	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
219	SARP_2015_1			2015	GP	Międzynarodowe Centrum Kongresowe w Katowicach	-	Polska	P	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	-
220	SARP_2016_1			2016	GP	Teatr w Budowie, Centrum Spotkania Kultur w Lublinie	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	-
221	SARP_2017_1			2017	GP	Siedziba Wydziału Radia i Telewizji im. Krzysztofa Kieślowskiego U.Ś. w Katowicach	-	Polska	P	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-
222	SARP_2009_1	MvdR Award	UE	2009	1	Norwegian National Opera & Ballet	-	Norwegia	P	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	
223	SARP_2011_1			2011	1	Neues Museum (Berlin)	-	Wielka Brytania	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
224	SARP_2013_1			2013	1	Harpa - Reykjavik Concert Hall and Conference Centre	-	Dania	P	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-	
225	SARP_2015_1			2015	1	Philharmonic Hall (Szczecin)	-	Hiszpania / Włochy	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
226	SARP_2017_1			2017	1	DeFlat Kleiburg	-	Holandia	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

RAZEM: 77 63 24 110 58 59 77 40 130 134 122 101 138 96

LEGENDA:

- 1 obiekt **spełnia** dane kryterium
- 0 obiekt **nie spełnia** danego kryterium
- FM kategoria kryteriów dot. formy obiektu
- FK kategoria kryteriów dot. funkcji obiektu
- KN kategoria kryteriów dot. konstrukcji obiektu
- EK kategoria kryteriów dot. ekologii i gospodarki energią
- b/d brak danych
- HA honor award - nagroda honorowa
- CA citation award
- SR special recognition - specjalne wyróżnienie

- MR merit award
- 1 first prize / first place - nagroda za zajęcie pierwszego miejsca
- 2 second prize / second place - nagroda za zajęcie drugiego miejsca
- 3 third prize / third place - nagroda za zajęcie 3-go miejsca
- MA master award
- SA site award
- x nagroda ex equo
- GP nagroda Grand Prix

8. Podsumowanie badania.

Podsumowanie badania zobrazowano za pomocą tabelach nr 4, 5.1 oraz 5.2. Tabela 4 obrazuje zestaw prac konkursowych, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do architektonicznych obiektów biomimetycznych. Tabela nr 5.1 oraz tabela 5.2 obrazuje statystyki – liczbowy i procentowy udział prac w ogólnej ilości prac spełniających kryteria względem kolejnych zapytań: partycypacji, kryteriów formalnych, ilości prac spełniających kryteria minimalne w funkcji czasu, słów kluczowych, kraju pochodzenia autora / autorów oraz jednoczesnego spełnienia kryteriów minimalnych oraz związanych ekologią i gospodarką energetyczną. Na podstawie zobrazowanych wyników można wyciągnąć następujące wnioski szczegółowe (potwierdzone danymi statystycznymi):

1. **Prace konkursowe, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej stanowiły 48% ogółu analizowanych prac konkursowych.** Zakładając nawet błąd ludzki (badacza), błędy w kwalifikacji oraz ewentualne omyłki pisarskie podczas wprowadzania danych - współczynnik zmniejszający oceniany na poziomie 0.8 – procentowy udział prac charakteryzujących się implementacją rozwiązań biomimetycznych wyniósłby minimalnie 40%. Najwięcej prac charakteryzujących się biomimetycznymi rozwiązaniami stwierdzono w konkursie Laka ReActs – 83% oraz kolejno: Evolo Skyscrapers – 61% oraz ex quo Futurarc i The Dencity Competition – 55%.
2. Spośród kryteriów podstawowych ze zbioru {W_FK_1, W_FK_2, W_KN_1, W_KN_2} najslabiej reprezentowane było kryterium W_KN_1 (dot. optymalizacji konstrukcji) – 56%, najsilniej natomiast kryterium W_FK_1 (dot. optymalizacji funkcjonalnej celem maksymalizacji zysków energii) – 81% pozytywnych wskazań.
3. Prace konkursowe, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej **opracowane zostały w większości przez profesjonalistów w dziedzinie architektury.** Ich liczba stanowiła 60/95 czyli 63% (liczba studentów wynosiła 35/95 czyli 37%).
4. W 75 przypadkach z 95 (79%) prac, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej, zostało jednocześnie spełnione co najmniej jedno kryterium ze zbioru FM {W_FM_1, W_FM_2, W_FM_3}. Dowodzi to sytuacji, w której biomimetyczna **forma architektoniczna (lub jej część) jest dla większości autorów prac istotna.**
5. Tabela szczegółowa wskazuje, że **najważniejszą grupą kryteriów** (tych, w których udzielono najwięcej pozytywnych odpowiedzi) **jest grupa kryteriów funkcjonalnych** (69%) oraz kolejno – ekologii i gospodarki zasobami (67%), konstrukcji (61%) oraz funkcjonalne (47%).
6. **Nie potwierdzono, iż następuje wzrost zainteresowania biomimetyką w architekturze względem cezury czasowej badania (10lat: 2008-2018r.).** Tabela wykazuje niewielki wzrost na przełomie 2015r. i 2016r., ale jest on związany z faktem, iż jeden z konkursów posiada swoje edycje od 2015.r co ewidentnie zaburza wynik w tym aspekcie. Brak jest części wyników prac z 2018r. z uwagi na fakt, iż część konkursów zeszłorocznych nie została jeszcze rozstrzygnięta a wyniki opublikowane. Celem wykazania ewentualnej ewolucji w tym aspekcie należałoby powtórzyć badanie w szerszej cezurze czasowej konkursów, które posiadają edycje w kolejnych latach bez przerw.
7. W 24/95 – **25% prac które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej odnotowano występowanie słów kluczowych** opisów prac (słów, w których występuje prefiks „bio”-).

8. **Autorzy prac konkursowych spełniających minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej pochodzą z Azji – 45%, oraz ex quo Europy i Ameryki Północnej – po 25%.**
9. Tabela szczegółowa wykazuje ponadto, iż **jedynie 25% prac konkursowych** spośród tych, które uzyskały opisaną powyżej minimalną kwalifikację do dziedziny biomimetyki **odnosiło się z jakiegokolwiek sposób do zasady cyrkulacyjnego obiegu energii i materii – cradle to cradle (C2C).**

Nie bez znaczenia dla ewentualnego pogłębienia badania są wnioski szczegółowe i spostrzeżenia empiryczne dokonane podczas jego prowadzenia. Jak zauważono, w konkursie 120h, który kwalifikuje się do grona konkursów dotyczących środowiska zrównoważonego odnotowano wiele prac, które stanowią manifest artystyczny bądź rysunkowy komentarz w kwestii sytuacji będącej tematem pracy lub problem do rozwiązania. Fakt ten nie pozwala ocenić tych prac z uwagi na oczywisty brak danych (brak architektury). Prawdopodobnie spowodowane jest to krótkim czasem w jakim napłynąć muszą prace po ogłoszeniu tematu konkursu – rzeczony 120h, co nie pozwala na skupienie uwagi na rozwiązaniach architektonicznych i ewentualnej biomimetyce i zmusza do rzeczowego i dosadnego lecz poza architektonicznego komentarza.

Jak nadmieniono, opracowane kryteria analizy i oceny obiektów architektonicznych celem zakwalifikowania ich do dziedziny biomimetyki nie są możliwe do zaadaptowania celem przeprowadzenia oceny rozwiązań urbanistycznych. Było to bezpośrednim powodem wyłączenia wstępnie planowanego do oceny konkursu European. Nie jest wykluczony i może zostać potwierdzony badaniami w tym zakresie związek biomimetyki ze wspomnianą w niniejszej dysertacji ekologiczną urbanizacją, którą cechuje lokalne zaangażowanie i dzielenie zysków celem utrzymania wspólnego dobrostanu celem dogłębnego jej zbadania w tym aspekcie. Przedmiotem tego badania może zostać objęty m.in. konkurs European.

Z zaskoczeniem odnotowano fakt, iż większość projektantów, w pracach których odnotowano inspiracje naturalnie występującymi strukturami czy zjawiskami pochodzi z dalekiego wschodu. Istnieje również odnotowana prawidłowość regionalnej partycypacji w konkursach architektonicznych. W konkursie Evolo Skyscrapers większość uczestników pochodziła z Ameryki Północnej oraz Europy, w konkursie Futurarc natomiast z Azji i Australii. Jednocześnie, co napawa sporym optymizmem, dla projektantów z dalekiego wschodu – jak wskazują opracowane dane statystyczne – istotne znaczenie ma aspekt ekologiczny i gospodarka energetyczna projektowanych przez siebie obiektów. Ma to zasadnicze znaczenie w kontekście gospodarki Chin i jej wpływu na stan środowiska zarówno regionalne jak i globalne - w aspekcie stanu powietrza, wyjąłowania gleby i efektu cieplarnianego. W konkursie Futurarc odnotowano najwięcej nawiązań do systemu cradle to cradle, który notabene jest wytworem myśli projektantów z Europy.

Co istotne – pozostawiając jednocześnie pewien niedosyt oraz pole do propagacji kolejnych badań w tym zakresie – odnotowano niewiele prac – 34% (68 ze 196), w których biomimetyka posłużyła projektantom do optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych. Generalnie, projekty bazują na unifikacji systemów konstrukcyjnych.

Dane statystyczne, na podstawie których opracowano powyższe wnioski wskazane zostały w tabeli szczegółowej - tab. 4 oraz tabelach wyników - tab. 5.1 oraz tab. 5.2. Na uwagę zasługuje zmiana procentowego udziału spełnionych kryteriów w ujęciu globalnym w tabeli głównej - tab. 3 oraz tabeli szczegółowej - tab. 4.

tab. 4: Tabela szczegółowa ewaluacji kryteriów biomimetyki.

L.P. WG TABELI GŁÓWŃ.	OZN. KARTY KONKURSU	KONKURS NAGRODA	KRAJ ORG. KONKURSU	DATA OPR.	M-CE / NAGRODA	TYTUŁ PRACY	ID PRACY	NARODOWOŚĆ AUTORA / AUTORÓW	PROFESJONAL / STUDENT	KRYTERIA OCENY (WG OPISU METODOLOGII BADAŃ)												SPEŁNIENIE MIN. WARUNKU KWALIFIKACJI	OPIS (wskazanie słów z prefiksem bio- odnotowanych w opisach prac konkursowych)				
										FM			FK		KN		EK										
										W_FM_1	W_FM_2	W_FM_3	W_FK_1	W_FK_2	W_KN_1	W_KN_2	Z_EK_1	Z_EK_2	Z_EK_3	Z_EK_4	Z_EK_5			Z_EK_6			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X				
1	eVolo_2008_1	USA	USA	2008	1	Layered Interiorities	0152	USA	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1				
3	eVolo_2008_3			2008	3	Coastal Fog Skyscraper	0283	Chile	S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1			
6	eVolo_2009_3			2009	3	Vertical Farm	0564	USA	S	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1			
9	eVolo_2010_3			2010	3	Nested Skyscraper in Tokyo	0755	USA	S	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1			
10	eVolo_2011_1				1	LO2P: Delhi Recycling Center	0212	Francja	S	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1			
11	eVolo_2011_2			2011	2	Flat Tower	1112	Francja	S	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1			
12	eVolo_2011_3				3	Re-imagining the Hoover Dam	0165	UK	S	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1			
13	eVolo_2012_1			2012	1	Himalaya Water Tower	0165	Chiny	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1			
14	eVolo_2012_2				2	Mountain Band-Aid	0350	Chiny	S	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
16	eVolo_2013_1			2013	1	Polar Umbrella Buoyant Skyscraper Protects and Regenerates the Polar Ice Caps	0480	USA	S	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1			
17	eVolo_2013_2				2	Phobia Skyscraper Revitalizes Paris Suburbs	0201	Francja	S	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1			
18	eVolo_2013_3				3	Light Park Floating Skyscraper	0208	Chiny	S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1		
21	eVolo_2014_3			2014	3	Propagate Skyscraper: Carbon Dioxide Structure	0612	Kanada	S	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1			
22	eVolo_2015_1				1	Essence Skyscraper	0307	Polska	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
26	eVolo_2016_2			2016	2	The Hive: Drone Skyscraper	0577	USA	S	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1			
27	eVolo_2016_3				3	Data Skyscraper: Sustainable Data Center In Iceland	0356	Włochy	S	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1		
28	eVolo_2017_1			2017	1	Mashambas Skyscraper	0440	Polska	S	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1			
29	eVolo_2017_2				2	Vertical Factories in Megacities	0323	USA	S	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
31	eVolo_2018_1			2018	1	Skysheiter.zip: Foldable Skyscraper for Disaster Zones	0603	Polska	S	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1			
33	eVolo_2018_3				3	Waria Lemuy: Fire Prevention Skyscraper	0338	Chile	S	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1		
34	Laka_2015_1			POLSKA	Austria	2015	1	Fluid Architecture	0084	Kanada	P	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1		
35	Laka_2015_2						2	Alveous	0012	Pakistan	P	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
37	Laka_2016_1					2016	1	Snapping Facade	0104	USA	P	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	
38	Laka_2016_2						2	Suburban Swell	0112	USA	P	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
39	Laka_2016_3						3	URBAN OASIS: synergetic, living prototypes	0101	Austria	P	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
40	Laka_2017_1					2017	1	CIVILIZATION 0.000: Floating power station, offshore wind, wave & tidal energy	0105	Szwajcaria	P	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
41	Laka_2017_2						2	noMad	0122	Niemcy / UK	P	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
42	Laka_2017_3						3	Towards a lively architecture	0113	USA	P	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
43	Laka_2018_1					2018	1	Tidal Terrains	0043	USA	P	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
44	Laka_2018_2						2	Embodied Homeostasis	0089	Austria	P	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
56	120h_2013_3b			120h	NOR	2013	3x	Geiranger deep dock	48418	b/d	S	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1		
68	120h_2018_2					-	Odyssey	8215	Grecja	S	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
71	A at 0_2014_2			Aat0	USA	2014	HA	Symbiosis	-	Kanada	P	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1		
73	A at 0_2014_4	MR	The Wave				-	Dania	S	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1			
84	A at 0_2016_4	MR	Nexus				-	Kanada	P	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
87	Density_2015_1				1	Urukundo	15-62058	UK / Italy	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1				

tab. 4: Tabela szczegółowa ewaluacji kryteriów biomimetyki.

ID	Project Name	Year	Country	Type	Criteria														Notes				
					C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14					
89	Dencity_2015_3	2015	3	Agua Comunity	15-62129	South Korea / Hawaii	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	-	
90	Dencity_2015_4		SM	Equahabitat	15-63043	Ekwador / Kolumbia	P	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	-	
91	Dencity_2015_5		SM	Retrofitting	15-63111	Turcja	P	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	-	
93	Dencity_2015_7	2016	SM	Sol	15-63012	USA	P	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	-	
98	Dencity_2016_3		3	Allometric Sake	16-2282	USA	P	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	-	
100	Dencity_2016_5		SM	Kampung Value	16-1709	Australia	P	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	biodiversity	
102	Dencity_2016_7	2017	SM	Aqua Infrastructure	16-2137	USA	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biodiversity	
105	Dencity_2017_1		1	Right to Water	17-4295	USA	P	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	-	
106	Dencity_2017_2	2017	2	Beyond Slums	17-4805	UAE / Turcja / USA	P	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	-	
111	Dencity_2017_7		SM	Resistance Through Form	17-4290	USA	P	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-	
113	Futurarc_2008_1	2008	MA	b/d	-	Indonezja	P	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
114	Futurarc_2008_2		SA	b/d	-	Indonezja	P	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
118	Futurarc_2008_6		SA	b/d	-	Singapur	S	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	-
119	Futurarc_2009_1	2009	1	Green eco ceramics	-	Vietnam	P	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	-	
122	Futurarc_2009_4		3x	Green slope 1	-	UK	P	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
123	Futurarc_2009_5		1	Bamboo Community Hub	-	Vietnam	S	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
124	Futurarc_2009_6	2010	2x	We-Generate	-	Singapur	S	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	biomass	
127	Futurarc_2010_1		1	Urban Tree-House	-	Singapur	P	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-	
128	Futurarc_2010_2	2010	2	R4 Apartments	-	Singapur	P	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	bioclimatic	
129	Futurarc_2010_3		3x	Oasis Social Housing	-	Indonezja	P	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biopory	
132	Futurarc_2010_6		2	Fishery Neighborhood in Bang-Bao	-	Tajlandia	S	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	-	
134	Futurarc_2010_8	2011	3x	Habitat	-	Tajlandia	S	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	-	
135	Futurarc_2011_1		1	Pajak usu revitalisation	-	Indonezja	P	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-
137	Futurarc_2011_3		3	Pinwheel Farm	-	Wietnam	P	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	biogas
142	Futurarc_2012_1	2012	1	Emerging Topographies: A Toxic Landscape	-	Singapur	P	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	biodiversity, biofilter	
143	Futurarc_2012_2		2	An Alternative of Urban Geo-Space	-	Hong Kong	P	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	-	
144	Futurarc_2012_3		3	Tasbu	-	Filipiny	P	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	bioretention	
147	Futurarc_2012_6	2013	3	Kampung Tambang	-	Indonezja	S	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	-	
148	Futurarc_2013_1		1	S.M.I.	-	Indonezja	P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
151	Futurarc_2013_4	2014	1	Habit(at) River	-	Indonezja	S	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
153	Futurarc_2014_1		1	Water revitalization: touching the black river	-	Wietnam	P	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	biodiversity	
155	Futurarc_2014_3		3	The day after tomorrow	-	Wietnam	P	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	-
159	Futurarc_2015_1	2015	1	The golden island project	-	Indonezja	P	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
160	Futurarc_2015_2		2	"Pekarangan" Loop	-	Indonezja	P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	biodiversity	
162	Futurarc_2015_4		1	Urban Landscape remediation as catalyst	-	Indonezja	S	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
164	Futurarc_2016_1	2016	2	Pollution and diseases	-	USA	P	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	biomass	
165	Futurarc_2016_2		2	Urban crack project	-	Indonezja	P	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	
166	Futurarc_2016_3		3	IF program	-	Indonezja	P	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	-
167	Futurarc_2016_4	2017	1	Belakang Hotel	-	Indonezja	S	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	biopore, biosand	
173	Futurarc_2017_4		1	Poro(city)	-	Indonezja	S	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	biodiversity	

The dencity competition

OH / USA

Futurarc

Hong Kong, Indonezja, Malezja, Filipiny, Singapur, Tajlandia, Wietnam

tab. 5.1: Tabela wyników ewaluacji kryteriów biomimetyki.

L.P.	KONKURS	WYNIKI OGÓLNE			PARTYCYPACJA				ILOŚĆ PRAC, KTÓRE SPEŁNIAJĄ JEDNOCZEŚNIE KTÓREKOLWIEK KRYTERIUM ZE ZBIORU {W_FM_1, W_FM_2, W_FM_3} ORAZ KRYTERIA MINIMALNE		ILOŚĆ PRAC KONKURSOWYCH SPEŁNIAJĄCYCH KRYTERIA MINIMALNE W FUNKCJI CZASU										
					STUDENT		PROF.														
		LICZBA BAD. PRAC	ILOŚĆ PRAC SPEŁN. KRYT. MINIMALNE	% UDZIAŁ kol. C w B	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	Evolo Skyscrapers	33	20	61%	20	100%	0	0%	18	90%	2	1	1	3	2	3	1	1	2	2	2
2	Laka ReActs	12	10	83%	0	0%	10	100%	10	100%	-	-	-	-	-	-	2	3	3	2	
3	120 hours	12	2	17%	2	100%	0	0%	2	100%	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	1
4	Architecture at 0	17	3	18%	1	33%	2	67%	2	67%	-	-	-	-	-	2	0	1	-	-	
5	The dencity competition	20	11	55%	0	0%	11	100%	4	36%	-	-	-	-	-	-	5	3	3	-	
6	Futurarc	60	33	55%	12	36%	21	64%	23	70%	3	4	5	2	4	2	2	3	4	1	3
7	Emporis Skyscraper Award	30	14	47%	0	0%	14	100%	14	100%	1	1		1	2	2	2	2	1	2	-
8	Nagroda honorowa SARP	10	2	20%	0	0%	2	100%	2	100%	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-
9	MvdR Award	5	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
RAZEM:		199	95	48%	35	37%	60	63%	75	79%	6	6	6	7	8	8	7	14	14	11	8

tab. 5.2: Tabela wyników ewaluacji kryteriów biomimetyki.

L.P.	KONKURS	PRACE W KTÓRYCH WYSTĘPUJĄ SŁOWA KLUCZOWE (z prefiksem bio-)		PRACE KONKURSOWE SPEŁNIAJĄCE KRYTERIA MINIMALNE W FUNKCJI KONTYNETU KRAJU POCHODZENIA AUTORA / AUTORÓW												PRACE KONKURSOWE SPEŁNIAJĄCE KRYTERIA MINIMALNE ORAZ ODPOWIEDNIO 1, 2, 3, 4, 5 lub 6 KRYTERIÓW {Z_EK_1 - Z_EK_6}						
				Europa		Azja		Ameryka Północna		Ameryka Południowa		Australia i Oceania		Afryka								
				LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)	LICZBOWO	% (kol. C)							0 z 6
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		Q	R	S	T	U	V	
1	Evolo Skyscrapers	3	15%	8	40%	3	15%	7	35%	2	10%	0	0%	0	0%	1	1	0	6	5	4	3
2	Laka ReActs	2	20%	4	40%	1	10%	5	50%	0	0%	0	0%	0	0%	0	2	4	1	0	3	0
3	120 hours	0	0%	1	50%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	1	1	0	0	0	0
4	Architecture at 0	3	100%	1	33%	0	0%	2	67%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0	0	0	0	3	0
5	The dencity competition	3	27%	1	9%	3	27%	5	45%	1	9%	1	9%	0	0%	0	0	2	3	4	1	1
6	Futurarc	13	39%	1	3%	31	94%	1	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0	0	3	10	9	11
7	Emporis Skyscraper Award	0	0%	6	43%	5	36%	4	29%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0	3	1	6	4	0
8	Nagroda honorowa SARP	0	0%	2	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	0	1	0
9	MvdR Award	0	0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RAZEM:		24	25%	24	25%	43	45%	24	25%	3	3%	1	1%	0	0%	1	4	10	15	25	25	15

9. Wnioski

Kluczowe znaczenie dla rozwoju biomimetyki w architekturze ma interdyscyplinarne podejście do jej badania oraz prowadzenie badań laboratoryjnych w zakresie biotechnologii, inżynierii materiałowej czy biologii syntetycznej. Kluczowe z punktu widzenia architektury jest jednocześnie zastosowanie fabrykacji addytywnej oraz projektowania parametrycznego. Aktualnie, wszystkie te metody są dostępne, a działania możliwe. Analiza danych historycznych metodami statystyki (przy założeniu wprowadzeniu dużej ilości danych) jest dobrą metodą badawczą pozwalającą jednocześnie na opracowanie wyników w zależności od zapytania, dając jednocześnie możliwość uaktualnienia badania lub korekty zmiennych. Poza ogólnymi wnioskami płynącymi po przeprowadzeniu badania opisanymi w pkt. 8 niniejszej dysertacji, z punktu widzenia całości niniejszej rozprawy zakładającej zarówno część analityczną jak badanie cech architektury biomimetycznej w konkursach architektonicznych zrównoważonego środowiska zbudowanego opracowano podsumowanie przeprowadzonej pracy.

Projektowanie architektoniczne jest procesem jednocześnie złożonym z wielu równolegle prowadzonych analiz oraz procesem twórczym. Pomimo więc określenia cech architektury biomimetycznej nie można w procesie projektowania nakazać ich implementacji. Dowodzi temu fakt, iż podczas badania odnotowano jedynie 2 ze 199 obiektów (prac konkursowych), które zdaniem autora niniejszej pracy spełniły wszystkie kryteria oceny. Analiza materiałów źródłowych oraz przytoczonych badań pozwoliła jednak opracować cechy architektury biomimetycznej. Znajdują one potwierdzenie w opracowaniach naukowych przytoczonych w niniejszej dysertacji oraz zostały sprawdzone w ramach autorsko przeprowadzonego badania. W związku z powyższym wnioskiem, **teza świadcząca, iż możliwe jest opracowanie zestawu cech pozwalających zakwalifikować obiekt architektoniczny do dziedziny obiektów biomimetycznych jest prawdziwa.**

Jak nadmieniono, opracowane kryteria analizy i oceny obiektów architektonicznych celem zakwalifikowania ich do dziedziny biomimetyki nie są możliwe do zaadaptowania celem przeprowadzenia oceny rozwiązań urbanistycznych. Było to bezpośrednim powodem wyłączenia wstępnie planowanego do oceny konkursu European. Nie jest wykluczony i może zostać potwierdzony badaniami w tym zakresie związek biomimetyki ze wspomnianą w niniejszej dysertacji ekologiczną urbanizacją, którą cechuje lokalne zaangażowanie i dzielenie zysków celem utrzymania wspólnego dobrostanu celem dogłębnego jej zbadania w tym aspekcie. Przedmiotem tego badania może zostać objęty m.in. konkurs European.

Stwierdzono w części analitycznej i potwierdzono w badaniu, iż w związku ze zmianą paradygmatu postrzegania biomimetyki w architekturze co jest następstwem wzrostu znaczenia zrównoważonego rozwoju w projektowaniu architektonicznym - biomimetyka stanowi solidne narzędzie projektowe, które pomagać może zarówno w optymalizacji aspektów konstrukcyjno-funkcjonalnych architektury, jak i zagadnień dotyczących ekologii i gospodarowania energią. Potwierdzono w części analitycznej związek biomimetyki z zasadą cradle to cradle określającą cyrkulacyjny obieg energii i materii w środowisku zrównoważonym. Tabela szczegółowa (tab.4) wykazuje jednak, iż jedynie 25% prac konkursowych spośród tych, które uzyskały opisaną powyżej minimalną kwalifikację do dziedziny biomimetyki odnosiło się z jakiegokolwiek sposobu do zasady cyrkulacyjnego obiegu energii i materii – cradle to cradle (C2C).

Wyniki badania przedmiotowego dot. konkursów architektonicznych w środowisku zrównoważonego rozwoju zobrazowane w tabelach wyników (tab. 5.1 oraz tab. 5.2) pozwalają **potwierdzić tezę, iż biomimetyka ma duże znaczenie w projektowaniu architektonicznym w zrównoważonym środowisku zabudowanym.** Prace konkursowe, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej stanowiły 48% ogółu analizowanych prac konkursowych. Najwięcej prac charakteryzujących się biomimetycznymi rozwiązaniami stwierdzono w konkursie Laka ReActs – 83% oraz kolejno: Evolo Skyscrapers – 61% oraz ex quo

FuturArc i The Dencity Competition – 55%. Jednocześnie, nie da się potwierdzić przyrostu tego zainteresowania w funkcji czasu. Możliwe jest jednak uaktualnienie badania w przyszłości, zmiana zakresu lub cezurę czasowej, która może obejmować prace konkursowe wykonane przed rokiem 2008. Prace konkursowe, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej opracowane zostały w większości przez profesjonalistów w dziedzinie architektury. Ich liczba stanowiła 60 z 95 czyli 63%. Liczba studentów wynosiła 35 z 95 czyli 37%. Tabela szczegółowa (tab. 4) wskazuje, że najważniejszą grupą kryteriów (tych, w których udzielono najwięcej pozytywnych odpowiedzi) jest grupa kryteriów funkcjonalnych - 69% oraz kolejno – ekologii i gospodarki zasobami - 67%, konstrukcji - 61% oraz funkcjonalne - 47%. W 75 przypadkach z 95, czyli w 79% prac, które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej, zostało jednocześnie spełnione co najmniej jedno kryterium ze zbioru kryteriów formalnych - FM {W_FM_1, W_FM_2, W_FM_3}. Dowodzi to sytuacji, w której biomorficzna forma architektoniczna jest dla większości autorów prac istotna. Nie potwierdzono, iż następuje wzrost zainteresowania biomimetyką w architekturze względem cezurę czasowej badania (10lat: 2008-2018r.). Tabela wykazuje niewielki wzrost na przełomie 2015r. i 2016r., ale jest on związany z faktem, iż jeden z konkursów posiada swoje edycje od 2015r. co ewidentnie zaburza wynik w tym aspekcie. Brak jest części wyników prac z 2018r. z uwagi na fakt, iż część konkursów zeszłorocznych nie została jeszcze rozstrzygnięta a wyniki opublikowane. Celem wykazania ewentualnej ewolucji w tym aspekcie należałoby powtórzyć badanie w szerszej cezurę czasowej konkursów, które posiadają edycje w kolejnych latach bez przerw. Autorzy prac konkursowych spełniających minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej pochodzą w większości z Azji – 45%, oraz ex quo Europy i Ameryki Północnej – po 25%.

Z godnie z danymi zaprezentowanymi w tabeli szczegółowej (tab. 4), spośród kryteriów podstawowych ze zbioru {W_FK_1, W_FK_2, W_KN_1, W_KN_2} najslabiej reprezentowane było kryterium W_KN_1 (dot. optymalizacji konstrukcji) – 56%, najsilniej natomiast kryterium W_FK_1 (dot. optymalizacji funkcjonalnej celem maksymalizacji zysków energii) – 81% pozytywnych wskazań. W ujęciu globalnym natomiast (tab. 3) – pozostawiając jednocześnie pewien niedosyt oraz pole do propagacji kolejnych badań w tym zakresie – odnotowano niewiele prac – 34% (68 ze 196), w których biomimetyka posłużyła projektantom do optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych. Na tej podstawie można wyciągnąć wniosek, iż generalnie, projekty bazują na unifikacji systemów konstrukcyjnych.

W 24 z 95 – 25% prac które spełniły minimalne kryterium kwalifikacji do dziedziny architektury biomimetycznej odnotowano występowanie słów kluczowych opisów prac tj. słów, w których występuje prefiks „bio”-, co potwierdzają dane zawarte w tabeli wyników (tab. 5.1 oraz tab. 5.2).

10. Bibliografia

- [1]: Christopher Alexander: *Język wzorców. Miasta, budynki, konstrukcja.*; GWP, Gdańsk 2008r.
- [2]: Peter Wohleben: *Sekretne Życie Drzew*; Wydawnictwo Otwarte, Kraków 2016r.
- [3]: Marcus Vitruvius Pollio: *O architekturze ksiąg dziesięć*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999r.
- [4]: J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*; Arkady, Warszawa 1983r.
- [5]: Janine Benyus: *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*; William Morrow Paperbacks, 2002r.
- [6]: Andrzej Samek: *Bionika: wiedza przyrodnicza dla inżynierów*; Wydawnictwo AGH, Kraków 2010r.
- [7]: Andrzej Samek: *Bionika w kształceniu*; Wydawnictwo AGH, Kraków 2013r.
- [8]: Michael Pawlyn: *Biomimicry in Architecture*, RIBA Publishing, London 2016r.
- [9]: Adam Ruszaj: *Bioinspiracje w projektowaniu konstrukcji lekkich*; DOI: 10.17814/mechanik.2016.2.9
- [10]: Neri Oxman: *"What if our buildings were grown, not built?";* mat. konferencyjne: World Economic Forum 2016r.
- [11]: Petra Gruber: *A Biomimetic Approach to Architecture and Design*; mat. konferencyjne: NASA Biomimicry Summit 2016r.
- [12]: Ewaryst Tkacz i Przemysław Borys: *Bionika*; WNT, Warszawa 2006r.
- [13]: Neri Oxman: *Material-based Design Computation*, praca doktorska na MIT, Boston 2010r.
- [14]: Przemysław Prusinkiewicz i Astrid Lindenmayer: *The Algorithmic Beauty of Plants*; Springer-Verlag, Berlin 2004r.
- [15]: Erik Tempelman, Bram van der Grinten, Ernst-Jan Mul i Ingrid de Pauw: *Nature Inspired Design*; TU Delft, Delft 2015r.
- [16]: Ilaria Mazzoleni: *Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles for Innovative Design*; CRC Press, Boca Raton 2013r.
- [17]: Hanryk Katowicz – Kowalewski: *Architektura jako sztuka kształtowania procesów*; Wyd. Polit. Częstochowskiej 2010r.
- [18]: Michael Braungart, William McDonough: *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*; Farrar, Straus and

- Giroux, Nowy Jork 2002r.
- [19]: Maciej Skowroński: *Rekonsumpcja Architektury*; praca doktorska na Wydziale Architektury PWR, Wrocław 2015r.
- [20]: Alicja Maciejko: *Inspiracje w architekturze. Część 2. Natura.*, Builder 44, czerwiec 2011r.
- [21]: Neri Oxman i in.: *Spinning Smooth and Striated: Integrated Design and Digital Fabrication of Bio-homeomorphic Structures across Scales*; materiały konferencyjne IASS2018, Boston 2018r.
- [22]: Julian Vincent i in.: *Towards a Design Process for Computer-Aided Biomimetics*; www.researchgate.net/publication/325924925
- [23]: Dennis Dollens: *Alan Turing's Drawings, Autopoiesis and Can Buildings Think?*; Leonardo vol. 43, nr 3, 2014r.
- [24]: Dennis Dollens: *Architecture, eTrees, & Nature*; Disegnarecon 2010r.
- [25]: Lorna Gibson, Michael Ashby: *Cellular Solids - Second Edition*; Cambridge University Press 1997r.
- [26]: Lorna Gibson, Michael Ashby, Brendan Harley: *Cellular Materials in Nature and Medicine*; Cambridge Univ. Press, 2010r.
- [27]: Vincent Blok, Bart Gremmen: *Ecological Innovation: Biomimicry as a New Way of Thinking and Acting Ecologically*; Journal of Agricultural and Environmental Ethics, styczeń 2016r.
- [28]: Paul R. Ehrlich: *Population Resources Environment: Issues in Human Ecology*; W. H. Freeman, London 1972r
- [29]: Emily Wax: *'Guerrilla gardeners' spread seeds of social change*; The Washington Post, 14 kwietnia 2012r.
- [31]: Julian Vincent i in.: *An Ontology of Biomimetics. In Biologically Inspired Design, Computational Methods and Tools*; Springer, London 2014r.
- [32]: Petra Gruber, Barbara Imhof: *Patterns of Growth - Biomimetics and Architectural Design*; MDPI Journal 2017r.
- [33]: Julian Vincent: *Biomimetics in architectural design*; www.researchgate.net/publication/271625607
- [34]: Neri Oxman i in.: *Designing (for) Decay: Parametric Material Distribution for Hierarchical Dissociation of Water-based Biopolymer Composites*; materiały konferencyjne IASS2018, Boston 2018r.
- [35]: Neri Oxman: *Designing a Tree: Fabrication Informed Digital Design and Fabrication of Hierarchical Structures*; materiały konferencyjne IASS2018, Boston 2018r.
- [37]: Werner Nachtigall i Alfred Wisser: *Bionics by Examples*; Springer International Publishing, Berlin 2015r.
- [38]: Stappen R. K., *Sustainable development*, s. 27–28, 2006r.
- [39]: David Holmgren: *Permaculture: Principles & Pathways Beyond Sustainability*; Holmgren Design Services 2002r.

11. Strony internetowe użyte do pozyskania treści:

- [s1]: https://en.wikipedia.org/wiki/Christopher_Alexander
- [s2]: <http://www.calera.com/beneficial-reuse-of-co2/science.html>
- [s3]: https://pl.wikipedia.org/wiki/System_autopojetyczny
- [s4]: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Bionika>
- [s5]: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Permakultura>
- [s6]: https://www.ted.com/talks/william_mcdonough_on_cradle_to_cradle_design?language=pl#t-646687
- [s7]: <http://zero-waste.pl/czym-jest-zero-waste/>
- [s8]: https://pl.wikipedia.org/wiki/Hugo_Häring
- [s9]: http://www.terreform.org/projects_habitat_gen2seat.html
- [s10]: http://2012.igem.org/Team:NYU_Gallatin/Project/Socializing
- [s11]: <http://vincent.callebaut.org/category/projects/user>
- [s12]: https://www.ted.com/talks/michael_pawlyn_using_nature_s_genius_in_architecture
- [s13]: <https://aasarchitecture.com/2014/07/research-pavilion-2013-14-icd-itke.html>
- [s14]: https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology
- [s15]: https://es.wikipedia.org/wiki/Julian_Vincent
- [s16]: https://en.wikipedia.org/wiki/Biomimicry_Institute
- [s17]: https://pl.wikipedia.org/wiki/System_autopojetyczny
- [s18]: <http://www.rosslovegrove.com/index.php/about-us/>
- [s19]: https://www.ted.com/talks/ross_lovegrove_shares_organic_designs
- [s20]: https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Hansmeyer
- [s21]: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Permakultura>
- [s22]: https://pl.wikipedia.org/wiki/David_Holmgren
- [s23]: <https://www.l-a-v-a.net>
- [s24]: <https://www.120hours.no>
- [s25]: <http://www.architectureatzero.com/history/>
- [s26]: <https://shelterglobal.org/>
- [s27]: <http://www.futurarc.com/index.cfm/competitions/>
- [s28]: https://pl.wikipedia.org/wiki/Emporis_Skyscraper_Award
- [s29]: https://pl.wikipedia.org/wiki/Nagroda_Roku_SARP
- [s30]: <https://www.miesarch.com/about-the-prize/>

12. Spis źródeł ilustracji, tabel i rysunków:

fol. 1: <https://inhabitat.com/spinach-powered-house/>

fol. 2: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Sustainability_methods_featuring_C2C.png

fot. 3: <http://www.bluehair.co/corner/wp-content/uploads/2009/12/Cradle-to-Cradle-illustration-v2.png>
fot. 4: <http://www.wiwi.pl/kulturaantyczna/twardecki/pict/zoom/Grcla4.jpg>
fot. 5: https://pl.wikipedia.org/wiki/Sklepienie_wachlarzowe#/media/File:Bath.abbey.fan.vault.arp.jpg
fot. 6: <http://www.stylemiasta.pl/ladne-rzeczy/single/galeria/przewodnik-po-stylach-secesja/1/>
fot. 7: <https://i.pinimg.com/originals/1d/90/0b/1d900b514099710a63fdb4f4fe0a87b4.jpg>
fot. 8: <https://listart.mit.edu/public-art-map/baker-house>
fot. 9: <http://www.architekturakrajobrazu.info/przestrze-miejska-98994/141-przestrze-miejska/2833-dom-nad-wodospadem>
fot. 10: <http://www.arte.it/calendario-arte/roma/mostra-pierluigi-nervi-architetture-per-lo-sport-24627>
fot. 11: https://www.urbipedia.org/hoja/Restaurante_Los_Manantiales
fot. 12: https://de.wikipedia.org/wiki/Frei_Otto#/media/File:Munich_-_Olympiapark_3.jpg
fot. 13: archiwum prywatne
fot. 14: <https://www.hiwo.tv/ppop>
fot. 15: <https://blooloop.com/link/eden-project-morecambe-lancashire/>
fot. 16: <https://ourworld.unu.edu/en/growing-food-in-the-desert-is-this-the-solution-to-the-worlds-food-crisis>
fot. 17: J.S. Lebediew: *Architektura i bionika*, Arkady, 1983r., str. 82-83
fot. 18: Werner Nachtigall, Alfred Wisser: *Bionics by Examples*, Springer International Publishing, 2015r.
fot. 19: http://www.terreform.org/projects_habitat_fab.html
fot. 20: http://www.terreform.org/projects_urbanity_greenbrain.html
fot. 21: http://www.aiolova.com/BIA_Chart.pdf
fot. 22: http://vincent.callebaut.org/object/190320_taozhuyinyuansite/taozhuyinyuansite/projects/user
fot. 23: http://vincent.callebaut.org/object/181214_soprema/soprema/projects/user
fot. 24: http://vincent.callebaut.org/object/171023_mosul/mosul/projects/user
fot. 25: Michael Pawlyn, *Biomimicry in Architecture*, RIBA Publishing, 2016r.
fot. 26: <http://www.block.arch.ethz.ch/brg/research/design-research-on-new-tile-vaulting>
fot. 27: <https://aasarchitecture.com/wp-content/uploads/Research-Pavilion-2013-14-by-ICD-ITKE-06.jpg>
fot. 28: <https://www.somersetshouse.org.uk/files/mobius-project-exploration-architecture.jpg>
fot. 29: <https://inhabitat.com/green-power-islands-store-clean-energy-from-the-wind-and-sun/?variation=c>
fot. 30, 31: <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>
fot. 32: dzięki uprzejmości Mediated Matter Group, MIT, Boston, MA
fot. 33: <https://www.media.mit.edu/projects/water-based-additive-manufacturing/overview/>
fot. 34: Biomimicry design spiral. Biomimicry Guild 2007r.
fot. 35: <https://asknature.org>
fot. 36, 37: Dennis Dollens: *Architecture, eTrees, & Nature*, DISEGNARECON, 2010r.
fot. 38, 39, 40: <http://www.rosslovegrove.com>
fot. 41: <http://www.michael-hansmeyer.com/subdivided-columns>
fot. 42: <https://theverymany.com/form-of-wander>
fot. 43: Przemysław Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer: *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer-Verlag, 2004r.
fot. 44: <https://mx3d.com/projects/bridge-2/>
fot. 45: NID Handbook, Delft University
fot. 46: <http://www.ekodama.pl/pl/projekty/biodomek>
fot. 47: <https://www.l-a-v-a.net/projects/re-skin-uts-tower/>
fot. 48: <https://www.l-a-v-a.net/projects/forest-city-green-lava-skyline/>
fot. 49, 50: <http://lornagibson.org/research>

tab. 1: <http://daekwonpark.com/portfolio/dynamic-louvers/>
tab. 2: prof. Andrzej Samek: *Bionika w kształceniu*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013r. str. 26
tab. 3: opracowanie autorskie
tab. 4: opracowanie autorskie
tab. 5.1: opracowanie autorskie
tab. 5.2: opracowanie autorskie

rys. 1: prof. Andrzej Samek: *Bionika w kształceniu*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013r. str. 26
rys. 2: prof. Julian F. V. Vincent i in.: *Towards a Design Process for Computer-Aided Biomimetics*
rys. 3, 4, 5: Werner Nachtigall, Alfred Wisser: *Bionics by Examples*, Springer International Publishing, 2015r.
rys. 6, 7, 8: opracowanie autorskie