

Archivolta 2(62)2014 s. 41-46

Granice ludzkiej wyobraźni

Natura i architektura w dobie technologii cyfrowych

The limits of human imagination. Nature and Architecture in the era of digital technology

Krystyna Januszkiewicz

WA Politechnika Poznańska

Adam M. Szymiski

WBiA Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Słowa kluczowe: architektura, Natura, kultura, projektowanie cyfrowe, wydajność energetyczna

Keywords: architecture, Nature, digital design, energy-efficient forms

Streszczenie

Podjęmowane są zagadnienia dotyczące relacji pomiędzy Naturą a architekturą w dobie nowych narzędzi projektowania. Wzory, których dostarcza Natura były od zarania dziejów inspirujące dla form budowlanych. Formy te stanowiły rodzaj pomostu pomiędzy człowiekiem a właściwym mu środowiskiem przyrodniczym. Dziś uczymy się od Natury oszczędnego gospodarowania energią i materiałem, odnajdujemy w jej utworach efektywne rozwiązania inżynierskie i wzory struktur dla nowych materiałów budowlanych. A także poznajemy sposoby, w jaki środowiska naturalne i zbudowane mogłyby ze sobą najlepiej współdziałać. Wychodząc z fullerowskiej koncepcji projektowania – tak jak czy ni to Natura - dziś sięga po wiedzę z innych dyscyplin (biologia, fizyka), aby objaśniać zasady działania procesów informatycznych imitujących naturalne procesy formotwórcze i adaptacyjne. Procesy te próbuje się zastosować w projektowaniu architektonicznym. W tym kontekście, pojawia się pytanie o granice ludzkiej wyobraźni.

Abstract

The issues concerning the relationship between Nature and the architecture in the era of digital design tools are being dealt with. The patterns provided by Nature have been an inspiration for building forms since time immemorial. These forms have represented a kind of a bridge between men and their natural environment. Today, we learn from Nature about the efficient management of energy and material, we find effective engineering solutions and structural designs for new building materials. The paper presents here how to use digital technologies and techniques to achieve a higher level of functionality and environmental efficiency in architecture. Starting from Fuller's designing concept, as Nature does, today we use the knowledge from other fields (biology, physics) in order to explain the principles of computer processes which imitate the natural form-shaping and adaptive processes. It is attempted to adopt these processes in the architectural design. In this context, the question of the limits of human imagination appears.

Od najdawniejszych czasów człowiek, będąc utworem Natury, próbował poznać jej prawa i naśladować jej formy tworząc własne artefakty. Na ich podstawie określa się dziś dorobek kulturowy, stan świadomości społeczeństw żyjących w minionych epokach na pięciu kontynentach. Najpierw kultura wiązała się z uprawą roli (łac. *cultus agri*) bądź hodowlą zwierząt i oznaczała przekształcanie naturalnego stanu zjawisk przyrody w stan bardziej użyteczny i przydatny człowiekowi. A później, w ujęciu filozoficznym, za Cyncerem, chodziło o uprawę umysłu (łac. *cultura animi*). Jednocześnie termin ten odwołuje do starożytnych wierzeń i mitów, kultu bogów personifikujących potęgę Natury. Siłą ludzkiej wyobraźni powstawały różnorakie obrzędy i rytuały oraz budowle i przedmioty kultu. To czego nie można było wyjaśnić w sposób obiektywny, można było przypisywać siłom Natury. W arystotelesowskim bowiem ujęciu, Naturę rozumiano jako siłę kreacyjną, twórczą zasadę

Uniwersum. Obecnie kultura najczęściej rozpatrywana jest jako całościowy kształt duchowego i materialnego dorobku społeczeństw i często utożsamiana jest z cywilizacją. Obejmuje również wzory postępowania, a także to, co w zachowaniu ludzkim jest wyuczone, w odróżnieniu od tego, co jest biologicznie odziedziczone. W tym kontekście pytanie o granice ludzkiej wyobraźni można sprowadzić do pytania o granice między Kulturą a Naturą. Dla twórców architektury oznacza to, nie tylko starania o piękno, ale także o relacje ze środowiskiem naturalnym i zbudowanym. A to, gdzie zostanie wyznaczona ta granica zależy, w dużej mierze, od umiejętności i wiedzy, a także od gotowości wykorzystania tego do celów dotychczas nie wypróbowanych.

Buckminster Fuller - geometria, Natura i architektura

Czy Natura może pokazać człowiekowi tajniki budowania swojego świata w skali makro i mikro? Czy dzięki temu ludzkość przetrwa szczęśliwie na planecie Ziemia i jak to uczynić? Odpowiedziom na te pytania poświęcił życie Buckminster Fuller (1895–1983) amerykański architekt i wizjoner. Wprowadził on do architektury myślenie systemowe i topologię, zanim cyfrowe narzędzia projektowania zaczęły wspierać prace architekta. Jego koncepcja efektywności ekologicznej jest obecnie realizowana i stanowi ważną alternatywę w projektowaniu architektury XXI w. Fuller często podkreślał, że architekt powinien obserwować i naśladować utwory Natury gdyż to "Projekty Natury są płynne, efemeryczne, pięknie wymodelowane. Technologia Natury jest dynamiczna, lekka i uprawniona przez nakaz funkcjonalny – optymalną wydajność"¹.

Przyjazna Planecie interdyscyplinarna aktywność Fullera wyprzedza nurt myślowy drugiej połowy XX w. obejmujący koncepcje, które traktują człowieka i Naturę jako współistniejącą jedność i całość. Z tego kręgu, wywodzą się tacy myśliciele, jak: Theodor Roszak, George Bateson czy Fritjof Capra, którzy w różnych dziedzinach (historia kultury, antropologia, fizyka) propagują poglądy humanistyczne i ekologiczne². Zależało im, aby w światopoglądowym wymiarze doszło do przełamania kartezjańskiego dualizmu *res extensa – res cogitans*, który leży u podstaw nowożytnej nauki traktującej Naturę jako podległe człowiekowi masy materii. Widoczna na początku XXI w. globalna troska o środowisko oraz zmiany w nauce i kulturze uprawomocniają wysiłki Fullera jako naukowca, filozofa i architekta, tym bardziej że związki jego artefaktów z wynikami najnowszych badań naukowych stały się oczywiste.

Idealistyczny sposób myślenia Fullera opierał się na niezbywalnej jedności świata naturalnego, której środkiem poznania były eksperyment i intuicja. Uważał, że tylko zrozumienie technologii, w jej głębszym sensie, pozwoli prowadzić ludzkość ku szczęśliwej egzystencji. Wierzył, że technologia, chociaż nie odegra roli humanitarnej, to w swoich aspektach przemysłowych i naukowych nie zniweczy świata naturalnego. Wyznawał on zasadę, którą nazwał *ephemeralizacja*, i rozumiał ją tak jak jest ona propagowana przez Stewarta Branda (ur. 1938), futurystę i ucznia Fullera³. W odniesieniu do architektury, dotyczy to technologii produkcji materiałów budowlanych, rozwiązań funkcjonalnych, technicznych, energetycznych i metod budowlanych. Chodzi tu przede wszystkim o podwyższenie wydajności procesów, estetyka zaś jest istotną ich pochodną. Był jednym z pierwszych propagatorów systemowego sposobu pojmowania świata. Jako pierwszy eksplorował zasady wydajności energii i materiału w dziedzinie architektury, inżynierii i projektowania form przemysłowych. Na początku lat 40. XX w. badania geometryczne pozwoliły Fullerowi sprecyzować procedurę operacyjną wytwarzającą geometrię wektorów. Geometrię tę nazwał synergetyczną.

¹ Buckminster Fuller, w: Thomas T.K. Zung (red.), *Buckminster Fuller, Anthology for the New Millennium*, New York, 2001, 89.

² Do nich też nawiązuje później ruch ekofilozofii, rozpatrujący już tylko relacje człowieka i przyrody. Wymienić należy filozofów, tworzących światopoglądową opcję tej dyscypliny, jak: Arne Naess, twórca ekologii głębokiej, jej późniejszych propagatorów Billa Devalla i George'a Sessionsa – autorów *Ekologia głęboka. Życie w przekonaniu, iż natura coś znaczy – czy polskiego myśliciela w USA, Henryka Skolimowskiego*. Patrz także: Fritjof Capra, *Punkt zwrotny. Nauka, społeczeństwo, nowa kultura*, PIW, Warszawa, 1987.

³ Stewart Brand to propagator tzw. miękkiej technologii dostępnej dla ludzi chętnych do tworzenia społeczności zrównoważonego rozwoju. Brand założył liczne organizacje propagujące ekologiczne podejście do środowiska, m.in. WELL i Whole Earth Lectronic Link (wcześniej Online Community), Global Business Network (futurystyczna firma konsultingowa), Long Now Foundation (odnośnie do odważnego długoterminowego myślenia). Jest autorem kilku książek i redaktorem czasopism, jak: *Whole Earth Catalog* i *Co Evolution Quarterly*.

Fuller wprowadził pojęcie synergetyka (grec. *sin* – wspólny i *ergos* – działanie) zanim niemiecki fizyk Hermann Haken (ur. 1927) ustanowił w latach 80. XX w. synergetykę jako interdyscyplinarny kierunek naukowy, mający na celu opis procesów samoorganizacji⁴.

Traktowanie form sferycznych i polihedralnych, jako systemów energii, było bezprecedensowe w historii matematyki i geometrii. Badania geometryczne Fullera dowiodły, że samopodobne elementy występują w formach dynamicznych w każdej skali od makro do mikro.

Fullera *Synergetics*, czyli dynamiczna geometria systemów energii, jest dziś wszechstronną dyscypliną, którą ogólnie określić można badaniem nieliniowej złożoności przestrzennej w czterech wymiarach. Włączenie czwartego wymiaru ukazują systemy organiczne i nieorganiczne dokonujące wielokierunkowych transformacji w czasie. Demonstrują to interakcje molekularne i krystaliczne wzory wzrostu, struktury fraktalne widoczne w liniach brzegowych i gałęziach drzew, w odwzorowaniach somoreplikacji DNA. Obecnie geometrię Fullera w jej animowanej postaci może zademonstrować cyfrowa aplikacja *Java-Applet Geometries*.

Geodetyka jest najbardziej ekonomicznym związkiem między dwoma zdarzeniami. Taka definicja odnosi się bezpośrednio do geometrii wielkich okręgów Fullera⁵, które, w systemie sferycznym, wyznaczają najkrótszą drogę między zdarzeniami, czyli relacje najbardziej ekonomiczne. W niektórych przypadkach najkrótszy dystans między dwoma punktami na powierzchni sfery wyznacza linia prosta (cięciwa). Fullerowi chodziło o to, aby tak podzielić powierzchnię kuli, żeby powstała siatka płaskich trójkątów równobocznych. Te niewielkie komponenty systemu sferycznego, jawiąc się jako płaskie, mogłyby należeć zarówno do systemu „wielkich okręgów”, jak i geodetyki, a także być rozpatrywane w tetrahedralnej geometrii Fullera⁶. Obecnie taki zabieg geometryczny wykonuje się przy pomocy narzędzi Rhino Grasshopper dla każdej zakrzywionej powierzchni posługując się formułą werteksów.

Na tej podstawie Fuller opracował aparat obliczeniowy, który umożliwiał budowę sferycznych struktur prętowych. Chociaż lekkie struktury geodezyjne były już projektowane przez Waltera Bauersfelda w Niemczech (Planetarium Zeissa, Jena, 1922), to Fuller usystematyzował matematyczny opis *omni-triangulacyjnej* sfery. System ten nazwany geodezyjnym (patent Fullera, 1954) jest fundamentalny dla struktur opartych o *icosahedron* (20-ścian). Pozwala budować obiekty w każdym rozmiarze i gęstości podziałów. Czyni to niewspółmierny wkład w projektowanie lekkiej architektury geodezyjnej. Od 1947 Buckminster Fuller opatentował i licencjonował ponad dwieście takich struktur. Lata 60. XX w. to okres intensywnych badań kosmosu i odkryć naukowych. W 1961 człowiek po raz pierwszy zobaczył Ziemię z wysokości jej orbity (ponad 100 km). Przybliżyło to pojmowanie Wszechświata w kategoriach planetarnych. Urzekający pięknem obraz Błękitnej Planety skłaniał do refleksji nad jej przyszłością.

Lekki, sferyczny Pawilon USA (średn. 76,5 m i wys. 61 m) pokryty przez 1900 akrylowych minikopuł, jakby jakaś nowa planeta, dominował nad wystawą światową EXPO'67. Jest najbardziej znanym dziełem Buckminstera Fullera. Kopuła Fullera była nie tylko nowym rozwiązaniem konstrukcyjnym, ale także potwierdzała badania Natury na jej najbardziej mikroskopijnym poziomie. Była reprezentacją „mikrokosmosu” w „makrokosmosie”. W tym aspekcie sferyczny kształt Pawilonu przypominał mikroorganizmy opisywane przez D'Arcy W. Thompsona w *On Growth and Form*, książce, którą zainteresował się Fuller na początku lat 50. XX w. Potwierdzają to małe stworzenia morskie takie, jak radiolaria, struktura rogówki oka, czy struktura wirusów sferycznych. Budowa tych organizmów jest wynikiem naturalnej tendencji do utrzymania wewnętrznej równowagi. Ponadto wykazuje, że ekstremalnie wysoka gęstość wielościanu geodezyjnego daje model systemu fizycznego, który interpretuje oko ludzkie jako sferę, np. bańkę mydlaną. Oczy nie dostrzegają pojedynczych cząsteczek w delikatnej, transparentnej bańce mydlanej. Nie wykrywają biegnących po cięciwach sił przyciągania pomiędzy cząsteczkami. Jednak one istnieją, tłumaczył Fuller, a naszym

⁴ Hermann Haken (ur. 1927), inspirowany teorią laserową, od początku lat 60. XX w. zajmuje się objaśnianiem formacji i samoorganizacji struktur systemów otwartych wychodzących poza stan równowagi termodynamicznej. Patrz: Hermann Haken, *Synergetics. Introduction and Advanced Topics*, Springer, 1983.

⁵ Wielkie okręgi wynikają z przecięcia sfery płaszczyzny przechodzącej przez środek geometryczny kuli. por. Amy C. Edmonson, *A Fuller Explanation, The Synergetics Geometry of R. Buckminster Fuller*, New York, 1992, s. 15.

⁶ por. ibidem.

obowiązkiem jest, aby rozumieć i nauczać prawdę o uniwersum – przedstawiać namacalne modele niewidzialnych zjawisk. Wykazał, że budowanie skorupy o gęstej triangulacji z icosahedralną symetrią jest najbardziej wydajną metodą zamykania przestrzeni (minimum materiału i maksymalny *performance*).

Pawilon USA był potwierdzeniem porządku, który Fuller odnalazł w Naturze. Wierzył, że Natura w każdej minucie rozpoczyna tworzenie molekuły atomów, komórek i budowanie z nich większych struktur. Był to sprawiedliwy, samoregulujący się idealny system, który ludzkość powinna postrzegać jako model dla instytucji politycznych i ekonomicznych. Ten polityczny idealizm Fullera odgrywał istotną rolę od początku procesu projektowania.

Fullerowska koncepcja idealnego i niehierarchicznego świata była zwiastunem nowego pojmowania szerokiego spektrum relacji Człowieka z Naturą i Kulturą. W ten sposób kula zyskała nową symbolikę, jest nie tylko metaforą Planety, Świata, ale także globalnego zaangażowania instytucji i społeczeństw w istotne dla wszystkich sprawy międzynarodowe. Jest przejawem nowej świadomości w epoce nauki i technologii, wiedzy i doświadczenia.

Nowe narzędzia projektowania otworzyły nowe pola do badań strukturalnych. Wraz z rozwojem nanotechnologii coraz bliższe są budownictwu materiały oparte na nanorurkach węglowych, których parametry są, po wielokroć, większe niż wiele znanych dotąd materiałów konstrukcyjnych.

Z nową uwagą rozpatruje się powłoki siatkowe dla form swobodnych i obiektów sferycznych. Na podstawie nowych pryncypiów i materiałów wyrafinowanych technologicznie, realizowane są ikoniczne obiekty takie, jak UN Memorial Hall (2009) w Chungju i Technosphere *Eco-Globe* (2009) w Dubaju. Poza metaforyczną wymowę formy i harmonią strukturalną, obiekty te ustalają nowe związki między architekturą a kontekstem w potrzebie interakcji Człowieka z Naturą i Kulturą.

W 1985 dokonano jednego z największych odkryć w nauce, kiedy stwierdzono istnienie trzeciej formy węgla C_{60} ⁷. Cząsteczka ta uformowana jest jak piłka futbolowa – jak sfera zbudowana z regularnych 12 pięciokątów i 20 sześciokątów, tak jak kopuły geodezyjne Fullera z lat 50. i 60. XX w. Odkrycie to dowiodło, że Fuller, za pomocą geometrii energii, obliczył, skonstruował i zbudował w skali medium to, co uczyniła Natura w skali mikro – model użytkowy jednego z najmocniejszych powiązań między atomami, jaki występuje w Naturze. Rzuca to nowe światło na niekonwencjonalny dorobek Fullera. Na jego cześć nowe cząstki węgla nazwano Buckminsterfullerene. J.E. Applewhite, współpracownik Fullera, potwierdził stosowność tej nazwy dla cząstek węgla C_{60} . Fuller nie przewidział istnienia C_{60} , lecz odkrycie to uprawomocniło jego intuicyjne przekonanie, że projektowanie geodezyjne odgrywa bardziej znaczącą rolę w sposobie, w jaki projektuje Natura, niż dotychczas zostało to rozpoznane. Rzuca to nowe światło na możliwości działań na poziomie molekularnym, zwanym nanotechnologią.

Topologiczna geometria Fullera oparta na czworościanie rewolucjonizowała myślenie inżynierskie w połowie XX w. Przełamała kartezjańsko-newtonowski pogląd, który zakładał, że istnieją struktury pierwotne oraz siły i mechanizmy powodujące ich interakcję. Dowiódł, że każda struktura powinna być rozumiana jako przejaw właściwych jej procesów. Owe procesy tworzą sieć relacji, które są z natury dynamiczne. Eksploracje te upodobniają Fullera do artystów i naukowców takich, jak Pitagoras, Archimedes, Albrecht Dürer, Luca Pacioli, Leonardo da Vinci i Johannes Kepler. Działając w obszarze, gdzie krzyżują się ze sztuką i nauką, muzyką i technologią podpatrywali oni architekturę wszechświata. Cztery lata później Fuller kontynuował podobny proces eksperymentalnej obserwacji struktur w czterech wymiarach. Istotą fullerowskiego projektowania było odnajdowanie związków między Naturą i nauką, sztuką i technologią, matematyką i muzyką, co uwidaczniana się w jego w podejściu do architektury. Analizy kondycji planety Ziemia skłoniły Fullera do konkluzji, że w latach 70. XX w. w świadomości ludzkości nastąpi bezprecedensowy zwrot spowodowany przez technologie cyfrowe.

Forma wyłania się z procesu - ku nowej architekturze organicznej

Nauka dowiodła, że systemy budowane przez Naturę przedstawiają duży poziom integracji i funkcjonalności przez dynamiczne sprzężenie zwrotne ze środowiskiem swojego życia. Formy wyłaniające się w procesach naturalnych najlepiej dostosowują się do środowiska i są najbardziej wydajne pod względem materiałowym, funkcjonalnym i energetycznym.

⁷ Odkrycia tego dokonali naukowcy Robert F. Curl (1933), Richard E. Smalley (1943) i Harold Kroto (1939), za badania nad fullerenami otrzymali w 1996 r. Nagrodę Nobla z chemii.

Zaistniała pokusa, aby takie procesy powtarzał komputer, a wyniki mogły być zamieniane na formy budowlane⁸.

Wzrost mocy obliczeniowej komputerów i możliwości obrazowania tych procesów sprawił, że na przełomie XX i XXI w. możliwe stało się naśladowanie przez procesy informatyczne procesów formotwórczych występujących w przyrodzie. Forma wyłania się wtedy z procesu cyfrowego, który wytwarza, rozwija i utrzymuje formę lub strukturę. Chodzi tu o procesy takie jak emergencja i smoorganizacja, morfogeneza, ewolucja i wzrost. Wiedza biologiczna, a zwłaszcza, w zakresie morfogenezy, czyli tworzenia się form rozwijających się w czasie i przestrzeni, splotła się z informatyką, fizyką i chemią oraz geometrią i organizacją, weszła już na stałe do ekonomiki, technologii i przemysłu. Taka zbieżność linii myśli biologii i matematyki została zapoczątkowana w pierwszej dekadzie XX w., zwłaszcza w pracach Alfreda N. Whiteheada (1861–1947) i D'Arcy W. Thompsona (1860–1948)⁹. Głównie ewolucyjny rozwój i wymiana między strukturą biologiczną a środowiskiem zachęcają do uczynienia z tych procesów narzędzi służących projektowaniu efektywnych ekologicznie sztucznych form, odpowiadających potrzebom użytkowym człowieka.

Cyfrowa instrumentalizacja naturalnych procesów formotwórczych otwiera dla architektury nowe terytoria do eksperymentowania i eksploracji nie tylko konceptualnych, formalnych i tektonicznych, ale także energetycznych. Architekci uczą się od Natury jak, pod presją dostosowywania się do zmiennych warunków życia oraz typowych sił przyrody, żywe organizmy stały się wytrzymałe i efektywne pod niemal każdym względem.

Jednak aby projektować tak jak czyni to Natura, potrzebne są przede wszystkim:

- 1) instrumentalizacja procesów naturalnych,
- 2) implementacja tych instrumentów w zintegrowany system CAD/CAM,
- 3) wyabstrahowanie z systemów naturalnych modeli inżynierskich dla rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych,
- 4) oparcie procesów technologicznych na tych wzorcach,
- 5) traktowanie środowiska naturalnego i zbudowanego jako systemu i subsystemu o sprzężeniu zwrotnym¹⁰.

Naukowcy zajmujący się biologią, inżynierią mimetyczną oraz informatycy podejmują na tym polu nowe badania.

W 1997 w MIT powstał interdyscyplinarny zespół badawczy *Emergent Design Group*, w skład którego weszli informatycy i architekci. Chodziło o zbadanie możliwości synergii między architekturą, sztuczną inteligencją, sztucznym życiem, inżynierią oraz nauką o materiałach po to, aby opracować prototyp programu dającego nowe narzędzia projektowe w systemie CAD. W 2001 roku Una-May O'Reilly i Martin Hemberg przedstawili program Genr8. Miał to być dowód na to, że koncepcja generowania powierzchni przez połączenie L-Systemów imitujących proces wzrostu i algorytmów ewolucyjnych jest użyteczna w projektowaniu architektury. Genr8 miał trzy kluczowe innowacje: 1) do reprezentacji program używa genom Hemberg-Extended-MapL-System (HEMLS) oraz fenotyp (powierzchnia); 2) proces ewolucyjnego przeliczania, w którym genom jest wielokrotnie interpretowany; 3) możliwości zatrzymania, interweniowania, powiadamiania oraz wznawiania procesu ewolucyjnego¹¹. Integrując ewolucyjne i generatywne metody informatyczne oraz techniki modelowania środowiska fizycznego, program ten okazałby się, gdyby nie trudność jego obsługi, narzędziem niezbędnym dla architektów w kreatywnym projektowaniu powierzchni i struktur. Opierając się na dynamice selekcji, mutacji i dziedziczenia, Genr8 umożliwiał symulacje stochastyczne, ewolucyjne i środowiskowe geometrii projektowanych struktur i powierzchni.

⁸ por. A. M. Szymski, *Twórczość architektoniczna. Wstęp do teorii projektowania systemowego (elements of system designing theory)*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej 101, Szczecin, 1997, s. 37.

⁹ Thompson (zoolog i matematyk) patrzył na materię żywych form jak na diagram sił, które utrzymują życie. Patrz: D'Arcy Thompson. *On Growth and Form*, Cambridge University Press, 1961, I wyd. 1917. patrz także: Whitehead A.N., *The Concept of Nature*, Cambridge University Press, 1920.

¹⁰ por. Krystyna Januszkiewicz, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*. Oficyna Wydawnicza PWR. Wrocław 2010, s. 128.

¹¹ Map L-System, opracowany przez Lindenmayera i Rozenberga w biologii, służy do studiów rozwoju komórkowego organizmów, nie ma topologii drzewka. Patrz: Una-May Q'Reilly, Martin Hemberg, Achim Menges, *Evolutionary Computation and Artificial Life in Architecture: Exploring Potential Generative and genetic Algorithms as Operative Design Tools*, AD, Vol. 74, No. 3, 2004, s. 48–53.

Zapewniał to moduł ewolucyjny, który wytwarza populacje powierzchni w wielu pokoleniach, a ich rozwój jest zarządzany przez algorytm imitujący organiczny wzrost. Ta unikatowa kombinacja gramatyki ewolucji (algorytm ewolucyjny) i *Map Lindenmayer Systems*¹² (generatywny algorytm wzrostu) wymagała implementacji do modelera *Wavefront 3-D Maya* oraz wiedzy z zakresu programowania. Dziś narzędzia te są udoskonalane. Korzystanie z modeli i cyfrowych imitacji procesów naturalnych w praktyce projektowej wymaga integracji metod i technik oraz narzędzi współpracujących asocjatywnie w systemie CAD/CAM.

Integracja cyfrowej samoorganizacji materiałowej, morfogenezy, asocjatywnego modelowania parametrycznego i komputerowego wspomaganie wytwarzania jest nowym wyzwaniem dla interdyscyplinarnych badań odnośnie do architektury i jej projektowania. Chodzi o takie zintegrowanie metod projektowych, narzędzi analitycznych i generatywnych oraz technologii wytwarzania, które ułatwią i zinstrumentalizują projektowanie ewolucyjne, umożliwią ocenę dyferencjacji materiałowych pod względem wysokiego *performance* i interakcji ze środowiskiem mając na uwadze samowystarczalność energetyczną projektowanych obiektów.

W dążeniu do osiągnięcia wyższego poziomu integracji materiałowej i projektowej rozróżnić można cztery główne kierunki badawcze:

- szczegółowe analizy instrumentalne systemów biologicznych, prowadzące do zaawansowanego projektowania kompozytowych materiałów biologicznych o większej funkcjonalności, prowadzone są w Centre for Biomimetic Engineering w University of Reading przez George Jeronimidisa;

- prace badawcze nad zaawansowanymi strukturami o zdolnościach adaptacyjnych oraz alternatywne podejście do modulacji środowiskowej skóry architektonicznej prowadzone są przez Wernera Sobeka i jego zespół w Institute for Lightweight Design and Construction (UEK – IL Institute for Lightweight Structures of Frei Otto).

W ostatnich latach opracowano modele matematyczne na podstawie fenotypów, a nie genotypów lub aktywności genetycznej¹³. Matematyk Ian Steward (ur. 1945) dowodzi, że wszystkie samoorganizujące się systemy nie organizują się same przez się, lecz przez ich kontekst. Modelowanie ewolucyjne w tym podejściu koncentruje się na specjacji¹⁴, dostosowaniu do krajobrazu i selekcji gatunkowej. Modele te ujmują nieliniowe i kolektywne efekty, jak przełamanie symetrii przez bifurkację. Modele te są zbiorem prostych równań różniczkowych zaaranżowanych w siatce struktur. Jest to siatka topologiczna, która odzwierciedla formę przez te równania. Rekombinacja prowadzi do mutacji przez wytwarzanie zróżnicowań w każdej generacji, a selekcja działa na pojedynczych organizmach występujących w kontekście innych w danym środowisku.

Naukowcy zajmujący się biologią, inżynierią mimetyczną oraz informatycy podejmują na tym polu nowe badania. Znaczące wyniki osiąga zespół kierowany przez Przemysława Prusinkiewicza z University of Calgary¹⁵. Badaczy interesuje zintegrowanie biomechaniki z rozwojem roślin, jak przebiega wzrost roślin, gdy dane wejściowe pochodzą z fizycznego środowiska biologicznego. Zaawansowane modele łączą grawitację, tropizm, kontakty między różnymi elementami struktury roślin oraz kontakt z przeszkodami¹⁶. Taki układ metodologiczny, zestaw narzędzi i wybór determinujących zmiennych jest równie interesujący dla projektowania architektury.

Opracowane przez zespół z Calgary narzędzia cyfrowe umożliwiają, przez wprowadzanie danych środowiskowych, modelowanie różnych cech roślin, takich jak spiralny *phyloaxis* potrzebny do

¹² Patrz: Przemysław Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer-Verlag (New York), 1990.

¹³ Patrz: Ian Stewart, *Self-Organisation in evolution: a mathematical perspective.*, Philosophical Transactions, The Royal Society of London, 2003, s. 361.

¹⁴ Specjacja w biologii to proces powstawania gatunków. Chodzi tu o specjację właściwą, czyli proces, w którym musi nastąpić izolacja rozrodcza pomiędzy istniejącymi populacjami gatunku lub pomiędzy grupami osobników w populacji.

¹⁵ Patrz: Przemysław Prusinkiewicz, *Modelling plant growth and development*, w: Vivian Irish and Philip Benfey, *Current Opinions in Plant Biology 2004*, Special Issue: *Growth and Development*, Elsevier, 2004.

¹⁶ Patrz: Catherine Jirasek, Przemysław Prusinkiewicz, Bruno Moulina, *Integrating biomechanics into developmental plant models expressed using L-systems*, w: Henry Ch. Spatz, Teodor Speck (red.), *Plant Biomechanics 2000*, Proceedings of the 3rd Plant Biomechanics Conference, 2000, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2000.

upakowania nasion, a także wielkości, zorientowanie i ekspozycję liści w kierunku słońca¹⁷. Architektura jest tym szczególnie zainteresowana ze względu na umożliwienie powiadomienia o dystrybucji określonych performatywnych cech architektonicznych, takich jak fotowoltaiczne generowanie energii, czy dystrybucji elementów do fotosyntezy – o rozmieszczaniu ich na skórze budynku odpowiednio do drogi słońca, przeważających kierunków wiatru itp. Rośliny są w stanie zrobić to precyzyjnie, jak również modulować siłę, aby przeżyć w trudnych warunkach. Choć cechy te i funkcje nie są w skali architektonicznej, to sposoby, w jaki działają, mogą być wskazówką do osiągnięcia podobnego *performance'u* w dużo większej skali. Modelowanie procesów wzrostu, uwarunkowanych wpływami środowiska, stanowi godne uwagi wzorce dla budynków, w których usiłuje się uwzględnić organizację i związki ekologiczne.

Oznacza to całkowicie nowy sposób myślenia o projekcie, konstrukcji, środowisku i energetyce budowli. Nadrzędnym celem interdyscyplinarnych zespołów badawczych jest wypracowanie nowego podejścia do projektowania przez połączenie architektury, inżynierii, sztucznej inteligencji i nauki o materiałach tak, aby sprawić, że artefakty człowieka będą tak samo sprawne i wydajne jak wytwory Natury.

„Historia cywilizacji dowodzi, że rozwój nauki i techniki, poszerzając zakres poznania, a tym samym obszar kultury, rozbudowywał sferę sterowania zjawiskami, które dotąd zaliczano do Natury, aby uczynić je podległe ludzkim działaniom. Tak motywowana działalność kulturowa, zwłaszcza w okresie pierwszej i drugiej rewolucji przemysłowej, zachwiała równowagę człowieka z przyrodzonym mu biotopem. Dopiero w końcu XX w. stan świadomości społeczeństw pozwala na wspólne działania kierowane imperatywem ochrony środowiska naturalnego i zrównoważonego rozwoju.

Istotne zmiany dokonują się w dobie technologii cyfrowych gdy możliwe jest imitowanie procesów biologicznych (formotwórczych i adaptacyjnych). Forma wyłania się wtedy z procesu cyfrowego, który wytwarza, rozwija i utrzymuje formę lub strukturę. Implikuje to rozszerzenie dotychczasowego pojęcia *mimesis* o nowe kategorie poznawcze. Przez *mimesis* należy zatem rozumieć osadzanie w budynkach procesów biologicznych i funkcjonalności, takich jakie posiadają organizmy, dla korzyści człowieka oraz innych żyjących gatunków i środowiska.

W podsumowaniu, zaznacza się, iż nowe rozumienie *mimesis* oznacza całkowitą zmianę w sposobie myślenia o projekcie, konstrukcji i środowisku. Stawia to nowe wyzwania, które podejmuje interdyscyplinarne zespoły badawcze. Nadrzędnym celem jest wypracowanie nowego podejścia do projektowania przez połączenie architektury, inżynierii, sztucznej inteligencji i nauki o materiałach tak, aby artefakty człowieka mogły być tak samo sprawne i wydajne jak wytwory Natury.

LITERATURA

- [1] Edmonson A. C., 1992. *A Fuller Explanation, The Synergetics Geometry of R. Buckminster Fuller*, New York
- [2] Januszkiewicz k., 2010. *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*. Oficyna Wydawnicza PWr. Wrocław.
- [3] Jirasek C., Prusinkiewicz P., Moulina B., 2000. *Integrating biomechanics into developmental plant models expressed using L-systems*, [W:] Henry Ch. Spatz, Teodor Speck (red.), *Plant Biomechanics 2000*, Proceedings of the 3rd Plant Biomechanics Conference, 2000, Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- [4] Stewart I., 2003. *Self-Organisation in evolution: a mathematical perspective*, *Philosophical Transactions, The Royal Society of London*.
- [5] Szymski, A. M., 1997. *Twórczość architektoniczna. Wstęp do teorii projektowania systemowego (elements of system designing theory)*, *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* 101, Szczecin.
- [6] Una-May Q'Reilly, Martin Hemberg, Achim Menges, 2004. *Evolutionary Computation and Artificial Life in Architecture: Exploring Potential Generative and genetic Algorithms as Operative Design Tools*, AD, Vol. 74, No. 3, s. 48–53.
- [7] Zung T.K. (red.), 2001. *Buckminster Fuller, Anthology for the New Millennium*, New York.

¹⁷ Patrz: Deborah Fowler, Przemysław Prusinkiewicz, Johannes Battjes, *A collision-based model of spiral phyllotaxis: from the proceedings of SIGGRAPH '92*, *Computer Graphics*, 26 (2), July 1992.