Zygmunt Szparkowski

Chaos i porządek współczesnej architektury

Mazowsze Studia Regionalne 19, 71-95

2016

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MUZEUM HISTORII POLSKI

DOI: 10.21858/msr.19.04

Chaos i porządek współczesnej architektury

Zygmunt Szparkowski

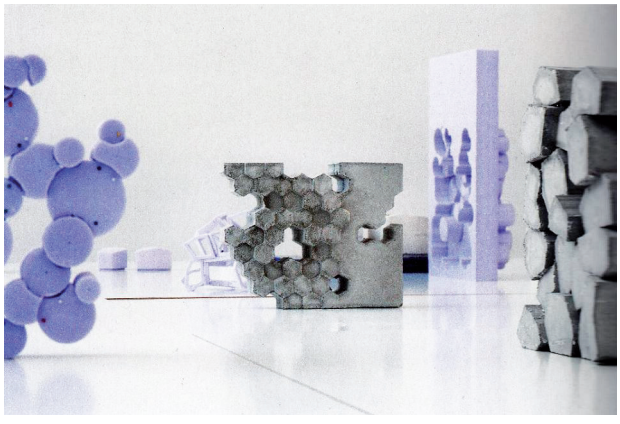
STRESZCZENIE

Architektura jest uporządkowaniem wchodzącego w jej skład zespołu elementów. Była zawsze postrzegana jako emanacja ładu i piękna. Zwykle pojęcie chaosu jest odbierane jako stan całkowitego bezładu, zamieszania, rozprzężenia i zamętu. Natomiast chaos deterministyczny, który jest przedmiotem rozważań tego artykułu, to przypadkowe zachowanie całkowicie rządzone przez prawo. Chaos ma własną niesamowitą geometrię. Jest ona ściśle powiązana z osobliwymi kształtami fraktalnymi, nazywanymi „dziwnymi atraktorami". Kształtowanie przestrzeni architektonicznej odbywało się dotychczas w oparciu o geometryczne środki wyrazu, pochodzące z geometrii Euklidesa i twierdzenia Pappusa o ruchomym punkcie, linii, płaszczyźnie i bryle. Abstrakcyjne elementy tej geometrii nie mają odpowiednika w naturze. Dlatego porządek architektury jest oparty na idei „jedności w różnorodności". Dotychczasowe podporządkowywanie natury przez człowieka, wywodzące się z przesłanek m.in. teologicznych, uległo stopniowym zmianom na rzecz pewnej symbiozy człowieka i natury. Uzyskana wiedza stała się podstawą rewolucji informatycznej, która doprowadziła do wynalezienia narzędzi cyfrowych, komputerów zdolnych do wygenerowania dowolnych powierzchni i objętości, dotychczas obserwowanych jedynie w naturze. W nauce i architekturze znalazło to swój wyraz m.in. w nawiązywaniu do chaotycznych form przyrody, jak też w rozwiązaniach technicznych, które zmierzały do wykorzystania osiągnięć nauki w możliwie szerokim zakresie. Nowa, generowana komputerowo architektura jest określana jako cyfrowa, parametryczna, algorytmiczna itp. Komputery stały się podstawowym narzędziem architektonicznych biur projektowych. Powstały możliwości kreacji dowolnych przestrzeni i ich wizualizacja, która przy zasobach ambitnych i bogatych inwestorów pozwoliła na realizacje wyobraźni architektów. Geometryczne cechy kształtów natury, a także sztucznych obiektów, były początkowo trudne do zdefiniowania matematycznego. Umożliwiła to w końcu nowa matematyka i grafika komputerowa na podstawie geometrii fraktalnej. Należy zauważyć, że geometria fraktalna posiada czytelny porządek strukturalny, co zbliża ją ku porządkowi tradycyjnej architektury. Wyobraźnia uzyskiwana dzięki komputerom jest w ścisłej relacji ze światem, w którym informacja i złożoność są spotykane na każdym kroku. Działania iteracyjne mogą wykraczać poza tzw. „dziwny atraktor". Powstaje zjawisko bifurkacji. Teoria bifurkacji, czyli rozwidlenie, ma sens zarówno w języku potocznym, jak i w matematyce. Pojawia się ciekawa struktura drzewiasta, wykorzystywana w kształtowaniu architektury. Odmianą chaosu jest zjawisko turbulencji. Należy odnotować próby klasyfikacji jako poszukiwania porządku nowej architektury. Jest ona oparta na uzasadnionej obserwacji, że fraktale i chaos są „wzorcami natury". Nowe pojęcie chaosu pozwoliło na kształtowanie oryginalnych form architektonicznych, których porządek gwarantuje współczesna matematyka i fizyka. Strona wizualna takiej architektury często nie pokrywa się z estetycznymi i emocjonalnymi potrzebami człowieka. Nowy porządek jest nieraz pozbawiony odniesień do skali, harmonii i piękna tradycyjnej architektury.

Wprowadzenie

Architektura jest nauką, wiedzą i sztuką, która kształtuje przestrzeń dla potrzeb człowieka. Porządek jest cechą każdej kultury jako wytworu umysłu i pracy człowieka. Architektura jest uporządkowaniem wchodzącego w jej skład zespołu elementów [Żórawski, 1978]. Była zawsze postrzegana jako emanacja ładu i piękna. Kształtowanie przestrzeni i formy architektonicznej jest oparte na zasadach porządku, wcześniej ustalonego w epoce antycznej, dotyczącego systemu konstrukcyjno – kompozycyjnego budowli, którego główne elementy powiązane są odpowiednimi proporcjami i odznaczają się jednolitą formą. Zwykle pojęcie chaosu jest odbierane jako stan całkowitego bezładu, zamieszania, rozprzężenia i zamętu. [Słownik].

Ryc. 1. Krajobraz miasta – chaos stochastyczny



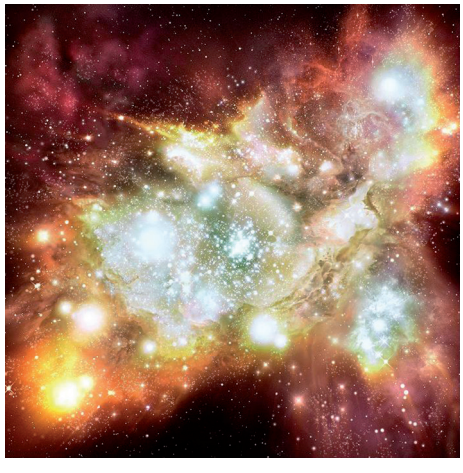
Źródło: Finsterwalder, 2011

Współcześnie matematyk angielski, Ian Stewart, podał charakterystykę chaosu w kolejnych stwierdzeniach [Stewart, 1996a]:

- Chaos jest to nieuporządkowana bezpostaciowa materia, o której sądzono, że istniała przed uporządkowanym wszechświatem.
- Chaos to całkowity nieporządek i zupełny nieład. Chaos jest przypadkowym (matematycznym, stochastycznym) zachowaniem, które występuje w układzie deterministycznym (przewidywalnym).

To ostatnie stwierdzenie jest paradoksem: „stochastyczny" oznacza przypadkowy, natomiast zachowaniem deterministycznym rządzi niemożliwe do przekroczenia prawo. Zatem chaos deterministyczny, który jest przedmiotem rozważań tego artykułu [Stewart, 1996a], to przypadkowe zachowanie całkowicie rządzone przez prawo.

Ryc. 2. Chaos nieuporządkowanej materii. Zdjęcie galaktyki wykonane teleskopem Hubble'a

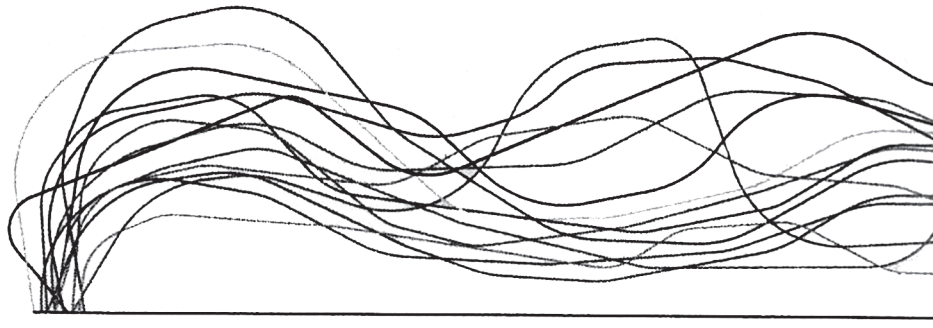


Źródło: Hubble

Pomysł Poincarego i jego wizualizacja

Wielki francuski matematyk, Henri Poincare, już pod koniec XIX wieku wykazał, że ruch zaledwie trzech ciał jest zbyt skomplikowany, aby dało się go przedstawić w postaci eleganckiego wyrażenia matematycznego. Była to zapowiedź współczesnej teorii chaosu. Wiele ważnych zagadnień wy-

Ryc. 3. Portret fazowy układu dynamicznego – częstotliwość fal



Źródło: Finsterwalder, 2011

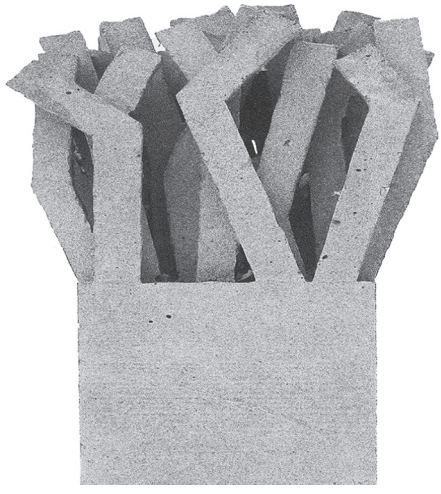
kracza poza możliwości analizy matematycznej i nie można ich rozwiązać, posługując się papierem i ołówkiem. Aby się z nimi uporać, potrzebne są moce obliczeniowe komputerów. Dzięki postępowi komputeryzacji w ostatnich 50 latach – umożliwiono uczonym i matematykom modelowanie i symulowanie coraz bardziej złożonych i interesujących zjawisk [Coveney, Highfield, 1997]. Pomysłem Poincarego był graficzny zapis, który pokazywał, co się dzieje kolejno dla wszystkich wartości początkowych [Stewart, 1996b]. Początkowy stan układu, w postaci punktu, może być przedstawiony na kartezjańskich osiach współrzędnych. Jednak dynamika układu podlega czynnikowi czasu.

Współrzędne zmieniają się w każdej chwili, zgodnie z regułami równań różniczkowych, dlatego dany punkt porusza się. Ruchomy punkt wykreśla krzywą, a ta krzywa obrazuje wizualne przedstawienie przyszłego zachowania całego układu.

Ryc. 4. Model zamrożonego ruchu częstotliwości fal

Źródło: Finsterwalder, 2011

Ryc. 5. Deterministyczny chaos



Źródło: Finsterwalder, 2011

Ryc. 6. Przykład wzorca chaosu „dziwnego atraktora", Biennale, Wenecja 2012

Fot. Zygmunt Szparkowski

Dynamika układu powoduje, że pojawiają się inne punkty oraz kolejne krzywe, które wirują na płaszczyźnie (zwykle na ekranie komputera). Zbiór wirujących krzywych przedstawia wszelkie możliwe zachowania układu, poczynając od warunków początkowych. Zasługą Poincarego, odkrywcy tego zjawiska, było uzyskanie ogromnego postępu w nauce. Pozwoliło to bowiem na holistyczne skoncentrowanie się na obrazie graficznym, a nie redukcjonistycznym liczbowym.

Wzorzec chaosu – *dziwny atraktor*

Kolejnym rezultatem tego pomysłu Poincarego była możliwość wyobrażenia dynamiki za pomocą kształtów geometrycznych, zwanych atraktorami [Stewart, 1996b]. Atraktory są powszechne w dynamice klasycznej, natomiast chaos ma własną, niesamowitą geometrię. Jest ona ściśle powiązana z osobliwymi kształtami fraktalnymi, nazywanymi „dziwnymi atraktorami". Powyginane belki wydają się być rozmieszczone chaotycznie, jednakże obowiązuje tutaj niewidoczna zasada. Zasada ta prowadzi do pewnej stabilizacji chaotycznych form, kończącej się tzw. „dziwnym atraktorem". Można to określić jako zamrożenie ruchu. Deterministyczny chaos jest kontrolowany, co obrazuje rzeźba.

Oznacza to, że gdy zaczynamy ruch układu dynamicznego z pewnego punktu początkowego i obserwujemy, co się z nim dzieje w długim okresie , to zwykle zauważymy, że kończy on swoją wędrówkę, tworząc dobrze określony kształt, który jest nazywany atraktorem.

Wzorce chaosu w postaci „dziwnego atraktora" mogą być uniwersalne, co oznacza, że nie opisują one pojedynczych przy-

padków, ale są reprezentatywne dla całej klasy układów [Coveney, Highfield, 1997]. Natura, mimo że posiada niewątpliwą dostrzegalną harmonię, opisywaną przez Arystotelesa, Pitagorasa i innych filozofów starożytności, jest jednocześnie wizualnie chaotyczna. Przez wiele stuleci uważano, że wszechświat podlega stałym niezmiennym prawom, a wszystko istnieje w dobrze określonej obiektywnej rzeczywistości. Odmienny pogląd głosił, że nic nie jest stałe. Wszechświat również podlega zmianom. Heraklit głosił, że „*Nie można wejść dwa razy do tej samej rzeki*", wszystko jest przepływem i zmianą [Stewart, 1996b]. Uczeni od czasów Newtona do całkiem niedawna uważali, że znając zasady fizyczne (równania) i warunki początkowe układu, są w stanie przewidzieć jego przyszłość. Takie twory fizyczne klasyfikujemy jako deterministyczne. Dziś wiemy już, że istnieją też takie, które się do tych reguł nie stosują, np. fizyka kwantowa, gdzie główną role odgrywa prawdopodobieństwo. Odkryto też klasę układów chaotycznych, w których drobna, fizycznie niezauważalna przyczyna potrafi kategorycznie zmienić ich sposób zachowania. Takie właściwości pojawiają się nawet w przypadkach o prostym opisie, o których myślano, że wiadomo już wszystko.

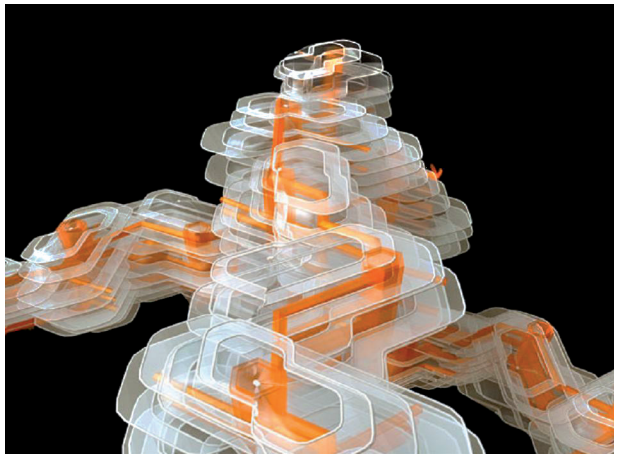
Porządek i nowa architektura

Kształtowanie przestrzeni architektonicznej odbywało się dotychczas w oparciu o geometryczne środki wyrazu, pochodzące z geometrii Euklidesa i twierdzenia Pappusa o ruchomym punkcie, linii, płaszczyźnie i bryle [Szparkowski, 2012]. Ta geometria, jako stosunkowo prosta gałąź matematyki, z natury rzeczy wprowadza ograniczenia w kształtach i przestrzeni architektonicznej. Abstrakcyjne elementy tej geometrii nie mają odpowiednika w naturze.

Ryc. 7. Falling Water – architekt Frank Loyd Wright

Fot. Katarzyna Kot-Folianty

Ryc. 8. Projekt Michaela Hansmeyer'a, który jest propozycją nowej architektury parametrycznej



Źródło: designyoutrust.com

Linie proste, równoległe, kąty proste itd. nie występują w przyrodzie, co w rezultacie powoduje, że obiekty architektoniczne mogą stanowić wyzwanie dla otoczenia naturalnego. Dlatego porządek nowoczesnej architektury jest oparty na idei „jedności w różnorodności". Wymaga to umiejętności wpisywania obiektów w zastane otoczenie przyrodnicze.

W skład porządku znanej architektury wchodzi również racjonalne wykorzystanie przestrzeni, m.in. funkcja użytkowa, ściśle powiązana z zagadnieniami urbanistycznymi i konstrukcją oraz wybrane kwestie filozoficzne, socjologiczne, psychologiczne i prawne. Od końca XIX i przez cały wiek XX obserwujemy niebywały rozwój badań przyrodniczych, w zakresie fizyki i matematyki, biologii i dziedzin pokrewnych. Jednocześnie zmieniło się w naszych czasach podejście do przyrody. Dotychczasowe podporządkowywanie natury człowiekowi, wywodzące się z przesłanek m.in. teologicznych, uległo stopniowym zmianom na rzecz pewnej symbiozy człowieka i natury. Uzyskana wiedza stała się podstawą rewolucji informatycznej, która doprowadziła do wynalezienia narzędzi cyfrowych, komputerów zdolnych do wygenerowania dowolnych powierzchni i objętości, dotychczas obserwowanych jedynie w naturze. Nie mogło to być niedostrzeżone przez odkrywców, dla których przyroda także wcześniej nie była obojętna i jednocześnie tajemnicza. W nauce i architekturze znalazło to swój wyraz m.in. w nawiązywaniu do chaotycznych form przyrody, jak też w rozwiązaniach technicznych, które zmierzały do wykorzystania osiągnięć nauki w możliwie szerokim zakresie. Nowa, generowana komputerowo architektura jest określana jako cyfrowa, parametryczna, algorytmiczna itp. Nowe inspiracje architektury mogą czerpać pomysły jakby z dwóch stron. Z jednej strony powstały nieograniczone możliwości generowania dowolnych przestrzeni, powierzchni i brył. Z drugiej strony – nowe inspiracje polegały na przetwarzaniu w architekturze odkryć, pomysłów i wyobraźni matematyków, fizyków, genetyków, kosmologów itd.

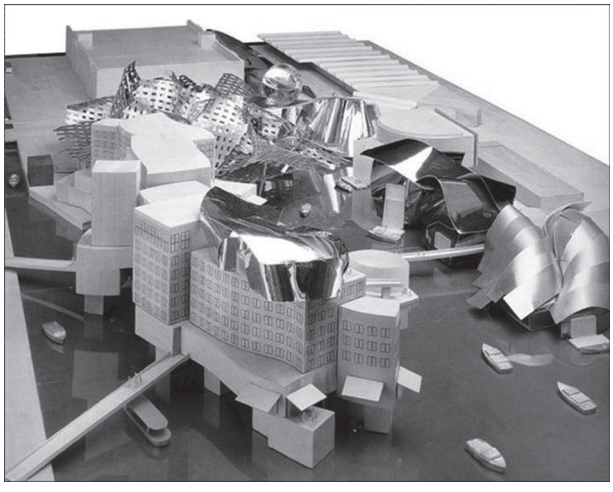
Ryc. 9. Soft Office UK inspiracja Frei Otto – grupa NOX

Źródło: Spuybroek, 2004

Na ryc. 9. przedstawiono inspiracje w „poszukiwaniu nowych form", które wykorzystywały pomysły Frei Otto. Polegały one na wprowadzaniu do projektowanych form elementów technik konstrukcyjnych, które były łączone, prowadząc do złożoności. Złożoność struktur była stale wzmacniana i utrwalana dzięki kolejnym transformacjom. Na skutek kolejnych przekształceń struktura pod wpływem dynamiki ruchu nie ulegała naruszeniu czy deformacji, natomiast stawała się maksymalnie uproszczona. Komputery stały się podstawowym narzędziem architektonicznych biur projektowych. Powstały możliwości kreacji dowolnych przestrzeni i ich wizualizacji, która przy zasobach ambitnych i bogatych inwestorów pozwoliła na realizacje wyobraźni architektów [Spuybroek, 2004]. Natomiast na poziomie projektowym powstawało jeszcze więcej wizji architektonicznych.

Architektura cyfrowa, mimo pozytywnego zaangażowania krytyków architektury, nie zawsze spotykała się z uznaniem społecznym. Było to spowodowane wprowadzaniem nowych kryteriów estetycznych, które niekoniecznie znajdowały zrozumienie u zwykłych ludzi. Przede wszystkim było to odchodzenie od przyzwyczajeń związanych ze stosowaniem klasycznej geometrii euklidesowej na rzecz inspiracji pochodzących z przetworzeń i rozwiązań nieliniowych równań matematycznych, naśladujących chaotyczną przyrodę.

Ryc. 10. Wizja miasta – architekt F. O. Ghery



Źródło: Bing 1

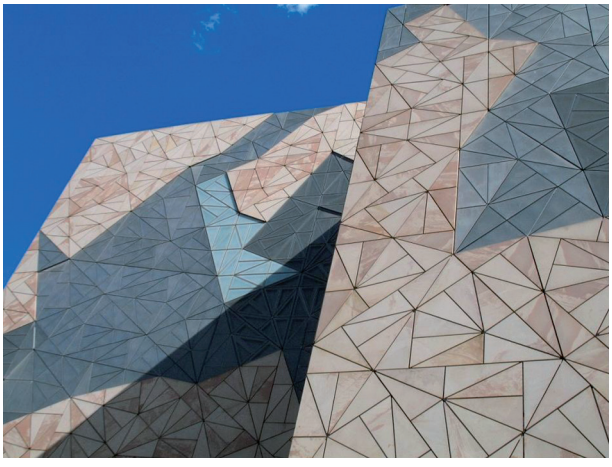
Fraktale

Geometryczne cechy kształtów natury, a także sztucznych obiektów, były początkowo trudne do zdefiniowania matematycznego. Umożliwiła to w końcu nowa matematyka i grafika komputerowa na podstawie geometrii fraktalnej, opracowanej przez Mandelbrota [Mandelbrot, 1982]. Wykazano w niej, że cała natura ma cechy fraktali. Fraktalne są formy chmur, wydm, cętek zwierzęcych itd.

Ryc. 11. Fraktalne formy chmur

Fot. Zygmunt Szparkowski

Ryc. 12. Federation Square w Melbourne



Źródło: Bing 2

Z elementów fraktalnych, dzięki postępom nauki i wprowadzeniu geometrii nieliniowej, kształtowano objętości i formy wielowymiarowe, dotychczas niemożliwe do urzeczywistnienia. Grafika komputerowa, wykorzystująca zasady nowej matematyki fraktalnej i chaosu, umożliwia generowanie praktycznie każdej przestrzeni trój- i wielowymiarowej, zarówno w modelowaniu matematycznym, jak i graficznym.

Ryc. 12. przedstawia elewacje budynku wykonaną z piaskowca, której detal odpowiada formom geometrii fraktalnej. Geometria fraktalna generuje kształty zbliżone do obiektów

Ryc. 13. Instalacja – architekt Benjamin Ball Gaston Nogues

Źródło: Bing 3

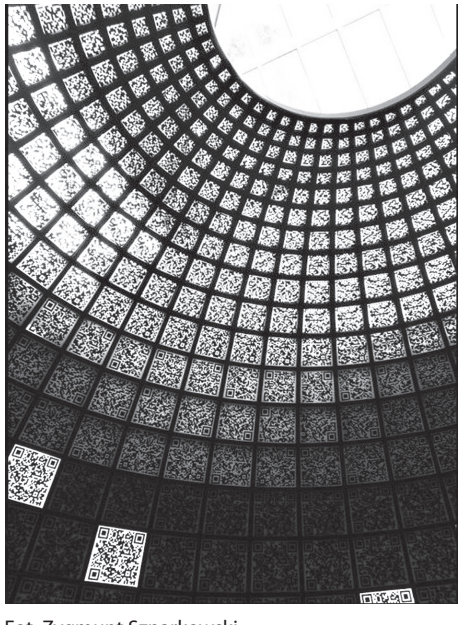
przyrody. Charakteryzuje ją brak czytelnej skali, samo podobieństwo swoich elementów, „skalowanie", czyli powtarzalność różnych wielkości podobnych elementów. Jednocześnie obiekty fraktalne charakteryzują się dużym stopniem złożoności.

Należy zauważyć, że geometria fraktalna posiada czytelny porządek strukturalny, co zbliża ją ku porządkowi tradycyjnej architektury. Wyobraźnia, uzyskiwana dzięki komputerom, jest w ścisłej relacji ze światem, w którym informacja i złożoność są spotykane na każdym kroku.

Świat komputerowy i porządek architektury

Świat komputerowy jest zorganizowany na podstawie geometrii fraktalnej, a nie na podstawie geometrii tradycyjnej. W takim świecie brakuje skali, w której akcje i przedmioty powinny być uprzednio rozpoznane przed ich rozmieszczeniem. Te wątpliwości w umiejscowieniu nie do końca rozpoznanych elementów mogą skutkować trudnościami w przeprowadzeniu kolejnych faz procesu projektowania. Jest to spowodowane faktem, że świat cyfrowy domaga się odmiennego doświadczenia wzrokowego, które wymaga zdolności podążania za złożonym labiryntem interakcji między ogółem a szczegółem. Wymaga to uprzednio kompleksowego zdefiniowania projektu, a jednocześnie drobiazgowych i czasami dyskusyjnych zmian, wynikających z parametrycznych zmiennych.

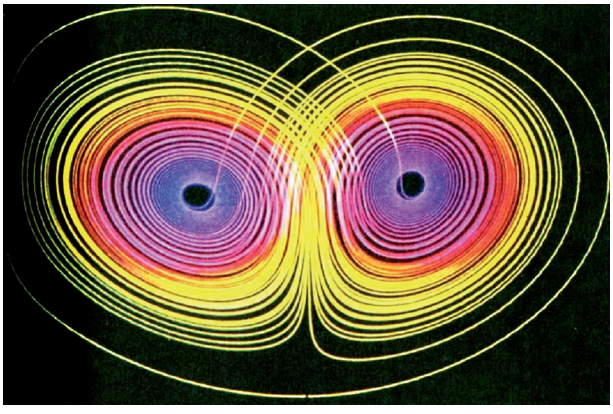
Ryc. 14. Świat cyfrowy – pawilon rosyjski na Biennale w Wenecji 2012



Fot. Zygmunt Szparkowski

Solidne przewidywania układu chaotycznego wymagają nieskończenie dokładnej znajomości warunków początkowych. Najdrobniejsza niedokładność, której nie można uniknąć w rzeczywistych doświadczeniach, wyklucza przewidywania, ponieważ nawet dowolnie mały błąd początkowy ulega z biegiem czasu wzmocnieniu wykładniczemu. Błąd wynikający z niedokładności pomiaru nie tylko nie znika, ale powoduje stałe jego wzrastanie [Stewart, 1996b]. Najsłynniejszym przykładem, który znalazł odzew wśród matematyków, fizyków oraz zapoczątkował badanie układów chaotycznych, jest model pogody. Został on zaproponowany przez Lorentza. Uczony ten posłużył się układem trzech równań różniczkowych nieliniowych pierwszego rzędu, który uprzednio uprościł. W badaniach posługiwał się komputerem, w tym czasie dość wolnym, więc pewnego dnia nie chcąc powtarzać obliczeń od początku, wpisał weń ostatni poło-

Ryc. 15. Wizualizacja chaosu w modelu Lorenza



Źródło: Gleick, 1996

wiczny wynik. Bardzo się zdziwił, gdy po pewnym czasie otrzymał wynik całkowicie inny. Spowodowane to było faktem, że maszyna wykonywała rachunki z dokładnością do sześciu liczb po przecinku, a na kartce wypisywano tylko do czterech. Powstały zapis graficzny (ryc. 15.) jest jednym z pierwszych modeli chaosu i nadal stawia wiele pytań dotyczących jego zachowania [Stewart, 1996a]. Zaszło zjawisko tzw. efektu motyla: hipotetyczny trzepot skrzydeł owada na dowolnym miejscu Ameryki mógłby wywołać tornado w Teksasie.

Eksperymenty z układami dynamicznymi, począwszy od stanów stacjonarnych do dziwnego atraktora, dały praktyczne możliwości tworzenia nowych kształtów, przypominających wzorce natury oraz kształty, dla których geometria nieliniowa wydawała się zupełnie obca.

Ryc.16. Realizacja fraktala Villa Nurbs, Enric Ruiz Geli – Cloud 9 Team

Źródło: Ferré *et alli*, 2005

Ryc. 17. Muzeum Gugenheima Bilbao – architekt F. O. Ghery

Źródło: Edgeoftheplank

Na ryc. 16. widzimy podobieństwo do fraktala – dziwnego atraktora z modelu Lorenza (ryc. 15.). Architekt, zainspirowany nową geometrią, zastosował ją w swojej bardzo ekonomicznej willi. W świecie architektury parametrycznej najmniejsza zmiana może wpłynąć na całość projektu, podobnie jak opisany efekt motyla. Jest zatem wysoce prawdopodobne, że i w tym przypadku kolejne iteracje komputerowe doprowadziły do końcowej formy (atraktora) architektury.

Ryc. 18. Pawilon wystawowy – architekt NOX

Źródło: Spuybroek, 2004

Zależność od niewielkich i przypadkowych zmian [Picon, 2010] stanowi analogie do szybkiej jazdy samochodem na nierównej powierzchni, gdzie najmniejsza nierówność może spowodować dramatyczne konsekwencje. W przeciwieństwie do liniowego toru samochodu, cyfrowy świat jest wielowymiarowy. Rozlewa się we wszystkich kierunkach, może przynajmniej teoretycznie być całkiem odwracalny, w przeciwieństwie do nieodwracalności ruchu fizycznego.

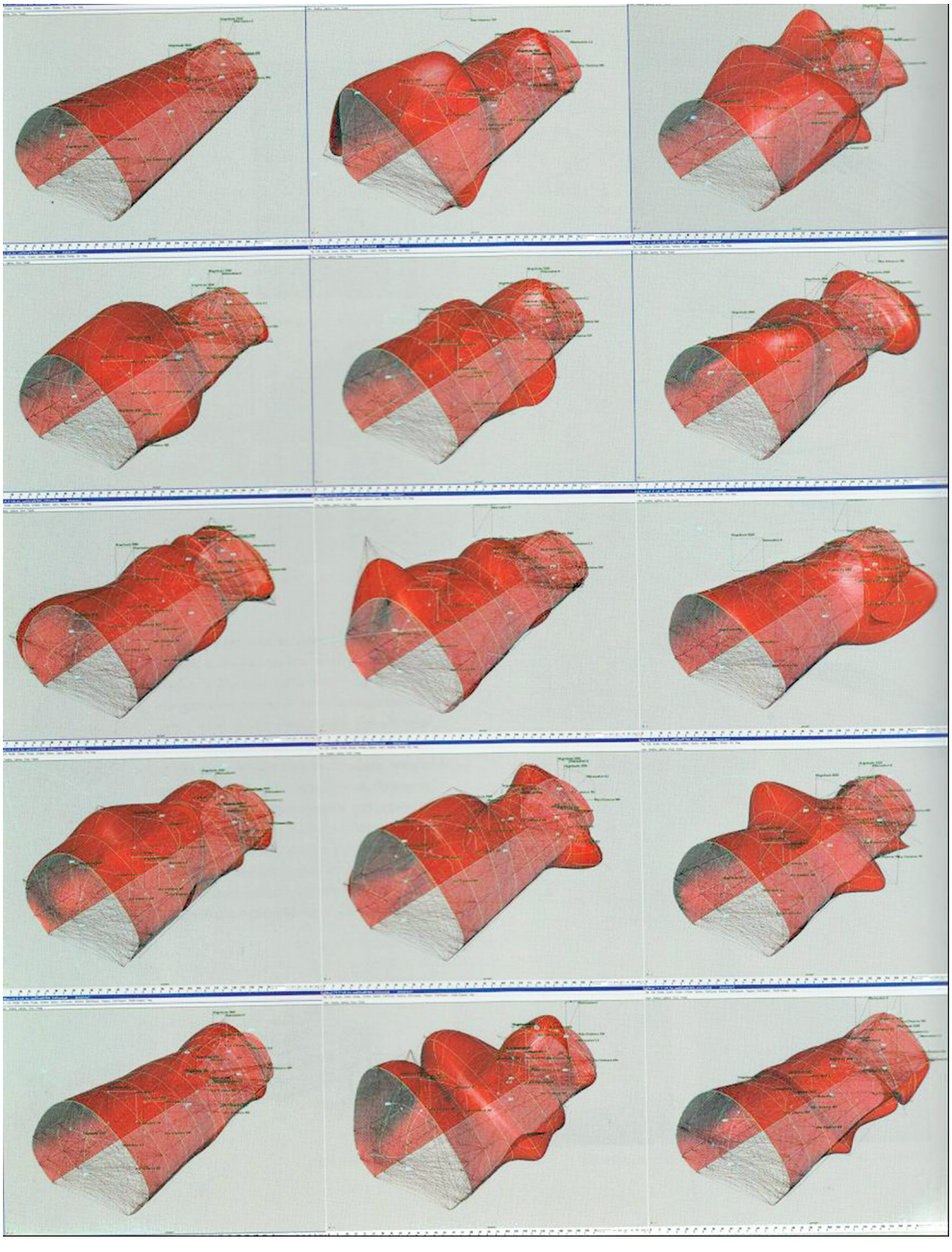
Chaos i architektura

Proste generowanie chaosu może być wykonane na fortepianie lub innym instrumencie muzycznym [Stewart, 1996b]. W nawiązaniu do dynamiki wykonywanych dźwięków zauważamy kolejne zmiany w przebiegu melodii. W stanie stacjonarnym melodia może być monotonna i nudna – występuje ciągłe *la-la-la…* W przypadku ruchu periodycznego melodia uzyskuje prosty rytm w rodzaju *la-re- la-re- la-re…* Z chwilą nieznacznego powiększenia okresu ruchu periodycznego pojawia się cykl w rodzaju *sol-fa-la-mi-re-…* itd. Podwajanie następuje nieskończenie często i staje się chaotyczne. Gdy słuchamy tych dźwięków, jesteśmy nadal zdolni usłyszeć jakiś rodzaj rytmów, nawet krótkie fragmenty niemal swojskich melodii. Jednak nic nie będzie się powtarzać. Muzyka jednak stopniowo staje się coraz bardziej chaotyczna i melodia błądzi po całej oktawie i wykorzystuje wszystkie dostępne nuty. Cały przedział oktawy staje się dziwnym atraktorem. Proces dynamiczny toczy się jednak dalej. Dochodząc do końca pierwszych iteracji, zauważymy, że wszystko zachowuje się chaotycznie, tak jak się należało spodziewać. W tym jednak czasie melodia się zmienia. W sposób uporczywy pojawia się jeden dźwięk jako: *mi-sol-si- mi-sol-si- mi-sol-si…* itd. W porównaniu z tradycją – cyfrowe formy architektoniczne wydają się coraz mniej wyodrębnione i stanowią statyczną jedność. W tym sensie chaos w poszukiwaniach kształtu kończy się statycznym

Ryc. 19. Docks de Paris – architekt Jakob+MacFarlane

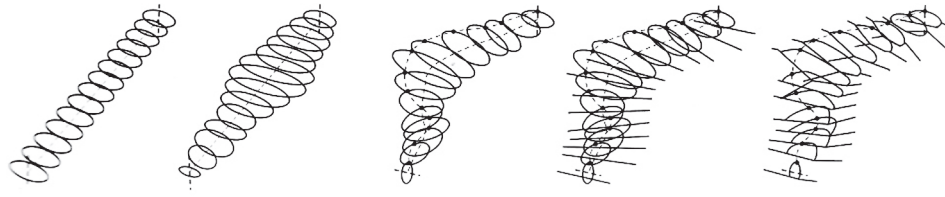
Fot. Zygmunt Szparkowski

Ryc. 20. myHouse wariantowanie – grupa NOX



Źródło: Spuybroek, 2004

Ryc. 21. Proces dochodzenia do formy Pawilonu – architekt grupa NOX



Źródło: Spuybroek, 2004

atraktorem. Wcześniejsze działania w kształtowaniu nowej architektury polegały na wykorzystaniu deformacji. Bryły platońskie, jak kula, walec itd., były zgniatane, względnie skręcane, przez określone ruchy. Chociaż skutki były topologiczne, metoda była indeksacyjna. Dla architektury form parametrycznych tradycyjne kryteria funkcjonalne i estetyczne nie są zbyt łatwe do zastosowania z powodu ich nowości oraz na skutek ciągłości, wariantowości i deformacji. Chodzi o to, w jaki sposób architekt może podjąć decyzję najbardziej właściwego rozwiązania w momencie tzw. przepływu [Picon, 2010]. Dynamika przepływu i złożoność formy jest dobrze uwidoczniona na ryc. 19.

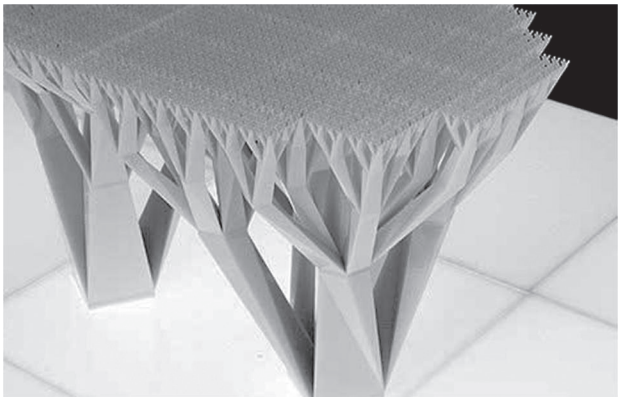
Wybierane kształty w poszczególnych sekwencjach czasowych projektowania mogą być rozważane jako produkt zamrożenia dynamicznej geometrii. Klient może wybrać sobie, na przykład przez internet, odpowiedni kształt domu z kolejnej klatki filmu. W wyniku powstaje jakby katalog wyróżnionych klatek filmowych.

Na ryc. 21. przedstawiono pierwszy etap iteracyjny, gdzie rura o przekroju eliptycznym jest skalowana zgodnie z programem cyfrowym, skręcana w zależności od wpływu

Ryc. 22. H20expo Pawilon wodny – architekt grupa NOX

Źródło: Spuybroek, 2004

Ryc. 23. Struktura drzewiasta



Projekt: MoCo Loco: The Modern & Contemporary Design

zewnętrznych sił, umiejscowiona na poziomie terenu i poddana deformacji zgodnie z jego ukształtowaniem

Podwójna krzywizna jest znana człowiekowi poprzez formę jego samochodu lub nawet kota. Taka jest prawdopodobna przyczyna, że architektura cyfrowa jest często kojarzona z kształtami pojazdów lub zwierząt. Charakterystyczną cechą tej architektury są motywy przepływu *streamlining* i biomorfizm, czyli upodobnienie do wzorców natury. Jest to jedna z pierwszych struktur całkowicie topologicznych, w której krzywizną jest zarówno podłoga, dach, jak i ściany. Żaden przekrój nie jest płaszczyzną dwuwymiarową. Jest to obiekt interaktywny, w którym odwiedzający mogą sami regulować oświetlenie i akustykę przestrzeni dzięki sieci specjalnych czujników. Pokazywane są gry wodne, jak sztuczny deszcz, fontanny pułapki, źródełka itp.

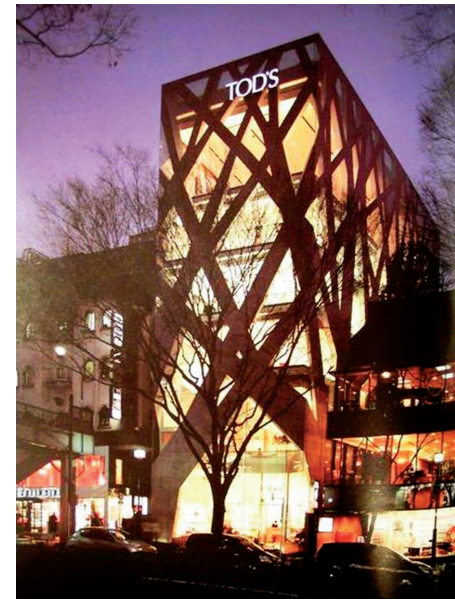
Ryc. 24. Grafika dendrytu

Źródło: Munari, 1980

Bifurkacja i architektura

Wracając do dźwięków, kolejne działania iteracyjne mogą wykraczać poza utworzony wcześniej dziwny atraktor. Powstaje, bowiem, zjawisko tzw. bifurkacji. Teoria bifurkacji, czyli rozwidlenie, ma sens zarówno w języku potocznym, jak i w matematyce. Pojawia się ciekawa struktura drzewiasta (w rodzaju dendrytu), nazywana „drzewem figowym" od jej odkrywcy – fizyka M. Feigenbauma. Drzewo figowe może osiągnąć kulminację przez wygenerowanie nieskończenie wielu gałęzi i układ staje się ponownie chaotyczny. Gałęzie drzewa figowego rozszerzają się w pasma chaotycznych atraktorów. Cechą tego obrazu jest samo podobieństwo [Stewart, 1996a].

Ryc. 25. Tod's – sklep z butami Tokio – architekt Toyo Ito



Źródło: Jodidio Philip, 1998

Dendryt, czyli rozgałęzienie, jest strategią graficzną utworzoną na podstawie analizy matematycznej. Strategia ta ma szerokie zastosowanie jako m.in. rodzaj graficznego przedstawienia systemu hierarchicznej organizacji. Dendryt daje się także skodyfikować wzorami matematycznymi. W grafice dendrytu jest zauważalny rozwój i dynamika struktury. Podobieństwo do dendrytu występuje w przyrodzie, np. w rozgałęzieniach konarów drzew, rozwoju komórkowym itp.

Ryc. 26. Siedziba Esso w Rzymie

Fot. Zygmunt Szparkowski

Ryc. 27. Fira 2. Barcelona – architekt Toyo Ito

Fot. Katarzyna Kot-Folianty

Na ryc. 23. przedstawiono charakterystyczne cechy dendrytu, wykonane przez uczniów szkoły artystycznej we Włoszech. Studium obrazuje dendryt rozwijany do nieskończoności. Można wykonać to ćwiczenie dla dwóch lub większej ilości gałęzi. Ilustracja drzewa wskazuje na ścisłe związki grafiki dendrytu z naturą (ryc. 24.). Należy zauważyć, że i w tym przypadku rozgałęzienia mają zbliżone kąty.

W siedzibie Esso w Rzymie architekci posłużyli się rozgałęzieniami (ryc. 26.). Uzyskano w ten sposób efekt przebiegu skośnych sił strukturalnych, będących w pewnym sensie odwzorowaniem dendrytu.

Wiata w Barcelonie jest oczywistym odniesieniem do przyrody (ryc. 27.). Zaprojektowano strukturę podobną do drzew, których konary podtrzymują koronę przejrzystego dachu.

Turbulencje i architektura

Odmianą chaosu jest zjawisko turbulencji. Turbulencja jest to nieład we wszystkich skalach. Małe wiry wewnątrz wielkich. Jest zjawiskiem niestabilnym i wysoce dysypatywnym. Jest to ruch przekształcony w przypadek. Kiedy przepływ jest gładki (laminarny) – małe zaburzenia zanikają. Natomiast po pojawieniu się turbulencji, zaburzenia narastają w sposób katastrofalny. To przejście jest tajemnicą w nauce [Gleick, 1996].

Wrażenie chaosu może być jednak mylne. Należy odróżniać „prawdziwy chaos", który występuje w stanach równowagi termicznej, od turbulencji w stanach odległych od równowagi, która dla oka wygląda jak chaos. W „prawdziwym chaosie" wszystkie rodzaje ruchów są dozwolone, nie ma żadnych wyróżnionych kierunków lub okresów drgań. Jest to układ w rodzaju „wszystko wolno", dlatego jest układem prawdziwie chaotycznym. Natomiast

Ryc. 28. Wir powstaje wówczas, gdy siły odśrodkowe przeważają nad grawitacją

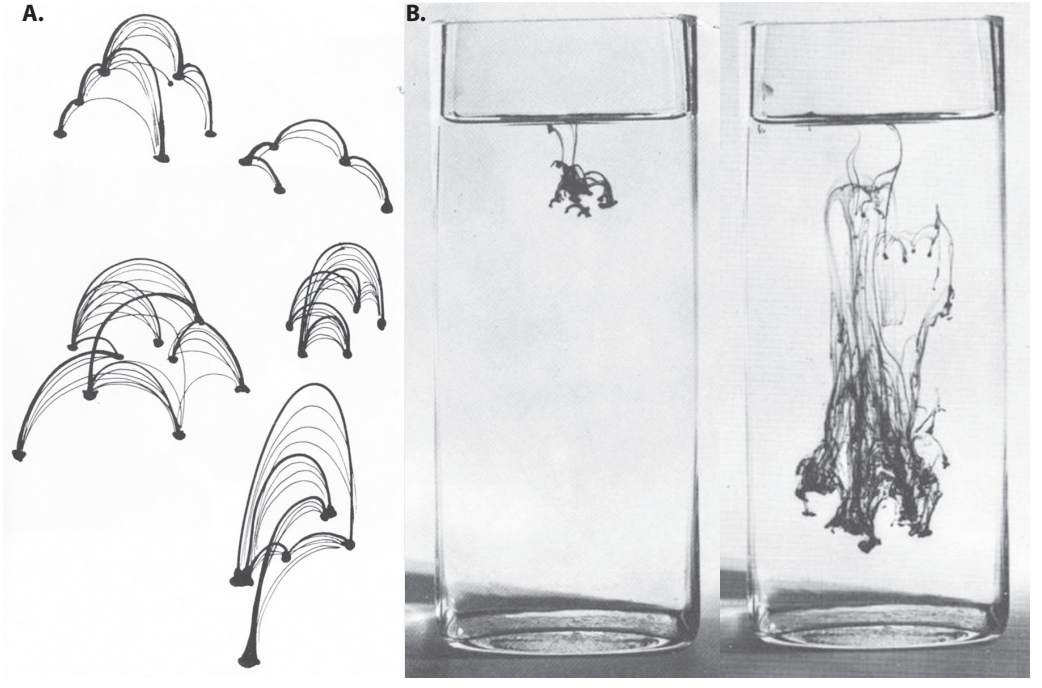
Źródło: Finsterwalder, 2011

w układzie turbulentnym, który znajduje się daleko od równowagi, mamy do czynienia z sytuacją całkowicie odmienną. Miliony cząstek wykonują ruchy całkowicie zsynchronizowane [Heller, Życiński, 1996]. Zjawisko turbulencji jest od dawna obserwowane w dynamice cieczy. W pewnych warunkach ciecz jakby zaczyna się gotować. Powstają niezliczone wiry, sprawiające wrażenie zupełnego chaosu, co inspiruje artystów.

Ryc. 29. Struktura turbulencji. Lebbeus Woods

Źródło: Jodidio, 1998

Ryc. 30. A. Odwzorowanie rozkładu kropli atramentu w wodzie ; B. Dwie fazy rozkładu kropli atramentu w wodzie



Źródło: Munari, 1980

Na ryc. 30. pokazano niektóre eksperymenty związane z rozmaitością płynnych form. Kropla atramentu, rozpuszczając się w wodzie, tworzy przypadkowe formy. Początkowe kształty podlegają dynamicznej ewolucji, stwarzając nowe formy, które starano się zanotować w tradycyjnej grafice.

W rezultacie podobnego zjawiska uzyskuje się dekoracje wazonu, powstałą z przypadkowego rozkładu płynnego barwnika w szkle (ryc. 31.). Kształt wiru, powstałego w wyniku turbulencji, może stanowić inspirację architektury.

W kierunku porządku

Należy odnotować próby klasyfikacji, jako poszukiwanie porządku nowej architektury. Jest ona oparta na uzasadnionej obserwacji, że fraktale i chaos są „wzorcami natury" [Finsterwalder, 2011], którymi można się posługiwać w nowej architekturze. Dzięki iteracjom komputerowym wygenerowano wizualnie nowe formy architektoniczne, zbliżone do form świata roślinnego, zwierzęcego lub form fraktalnych natury nieożywionej. Pojawiła się moż-

Ryc. 31. Wazon z Murano (Włochy)

Źródło: Munari, 1980

liwość klasyfikacji kształtowanej architektury, zwanej biomorficzną, zoomorficzną, względnie fraktalną. W ślad za tym wprowadzono pojęcie morfologii z nauk o ukształtowaniu i budowie organizmów zwierzęcych i roślinnych. Powstałe z iteracji komputerowych nowe obiekty nazwano morfami. W świecie komputerowym możliwość kształtowania nowych morfów jest praktycznie nieograniczona. Dlatego na zakończenie warto zwrócić uwagę na dość czytelną klasyfikację tego rodzaju obiektów [Spuybroek, 2004]. Architektura parametryczna używa łączenia różnych objętości poprzez miękkie przekształcenia, nie dochodząc do ostatecznego poziomu zgodności między poszczególnymi obiektami. Prawie wszystkie morfy prowadzą od geometrii powierzchni do geometrii bryły. Wymiary nie są poprzednio zadane, ale pojawiają się w trakcie kontynuacji procesu. Rozmiary obiektów nie są mechanicznie dodawaną sumą elementów, lecz stanowią całość organiczną. W nawiązaniu do architektury oznacza to, że przekształcenia zajmują dotychczasowe miejsca specyficznych planów obiektu (elewacji, rzutów, szeregów pomieszczeń i budynków, relacji podłoga – dach itp.). Jest to postęp w kierunku struktur bardziej złożonych. Wyróżniono cztery morfologie projektowe, wywodzące się z dynamiki chaosu [Spuybroek, 2004]:

1. Głębokie powierzchnie (*deep surfaces*) – powierzchnie na płaskiej lub zakrzywionej płaszczyźnie, które są deformowane zwykle prostopadle w kierunku tej powierzchni.

Ryc. 32. Wieżowiec w Chicago

Fot. Katarzyna Kot-Folianty

Mogą to być deformowane walce lub płaskie płaszczyzny. Podzbiorem tej kategorii są powierzchnie porowate, w których deformacje są strukturalne z powodów lokalnych rozdarć czy podziurawień.

2. Bąble (*bisters*) – pojedyncze płaszczyzny, które są lokalnie przekształcane w objętości. Występuje zarówno deformacja , jak i efekty bąbli.
3. Nić (*filo*) – podwójne warstwy, gdzie kieszenie zamykają się wzajemnie w taki sposób, że tworzą wspólną krzywą lub wielowarstwowe, które są ułożone przekątniowo, połączone kieszeniową strukturą przypominającą morfologię gąbki.
4. Gąbki – czysta wielokierunkowa morfologia, rozciągnięta pionowo lub nierozciągnięta.

Podane przykłady nie wyczerpują zagadnienia. Wcześniejsze ilustracje w tym artykule mogą stanowić uzupełnienie tej systematyki.

Uwagi końcowe

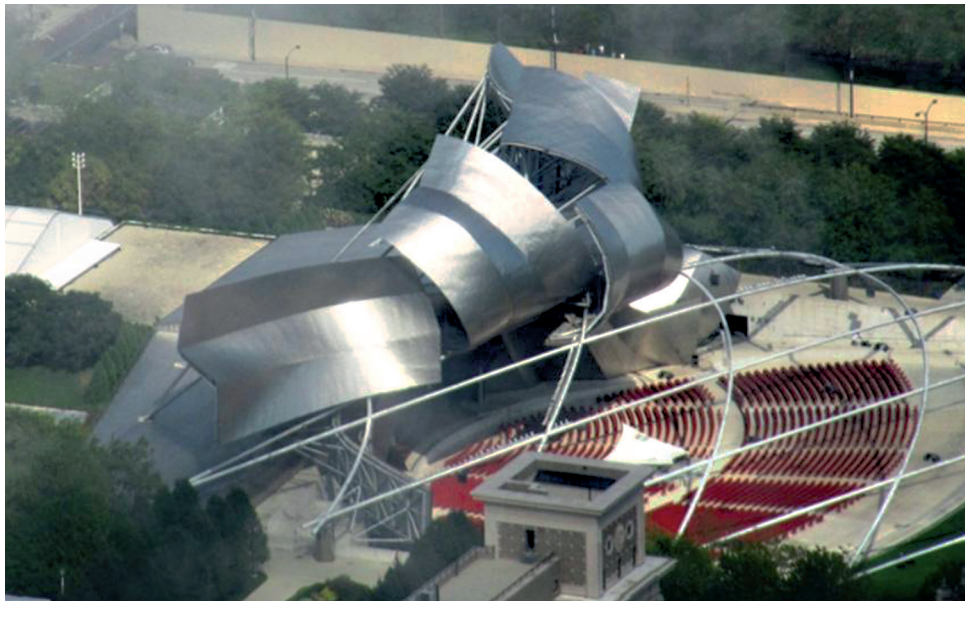
Porządek w tradycyjnej architekturze jest jej cechą immanentną. W tym sensie architektura może być odróżnialna od rzemieślniczej działalności budowlanej czy prostej inżynierskiej.

Nowe pojęcie chaosu pozwoliło na kształtowanie oryginalnych form architektonicznych, których porządek gwarantuje współczesna matematyka i fizyka. Strona wizualna takiej architektury często nie pokrywa się z estetycznymi i emocjonalnymi potrzebami człowieka. Nowy porządek jest nieraz pozbawiony odniesień do skali, harmonii i piękna tradycyjnej architektury [Szparkowski, 2014].

Ryc. 33. A. Milano Trade Fair – architekt Massimiliano Fuksas; B. Budynek w Barcelonie – architekt Toyo Ito

Źródło: A. Jodidio, 1998; B. Katarzyna Kot-Folianty

Ryc. 34. Amfiteatr w Chicago



Fot. Katarzyna Kot-Folianty

Bibligrafia:

Bing 1, https://www.bing.com/search?q=f.o+ghery+architecture&form=EDGHPC&qs=PF&cvid=58c9535c5cd44f419c571d6c64938c8d&pq=f.o%20ghery%20architecture

Bing 2, https://www.bing.com/images/search?q=melbourne+federation+square+architecture&qpvt=melbourne+federation+square+architecture&qpvt=melbourne+federation+square+architecture&qpvt=melbourne+federation+square+architecture&FORM=IGRE

Bing 3, https://www.bing.com/images/search?q=Instalacja+arch.+Benjamin+Ball+Gaston+Nogues+&view=detailv2&&id=140BDE1E2C81FFF9A68041F18C98A53108D2E0F7&selectedIndex=5&ccid=pbdybjWo&simid=608046466872511525&thid=OIP.Ma5b7726e35a8d77eb443fa4bcf7959e6o0&ajaxhist=0

Coveney Peter, Highfield Roger, 1997, *Granice złożoności – poszukiwanie porządku w chaotycznym świecie*, Warszawa, Prószyński i S-ka.

Edgeoftheplank, http://www.edgeoftheplank.com/2010/12/guggenheim-museum-bilbao-by-frank-gehry.html

Ferré *et alli* (red.), 2005, Ferré Albert, Hwang Irene, Kubo Michael, Sakamoto Tomoko, Prat Ramon, Tetas Anna (red.), *Conditioning: the designs of new atmospheres, effects and experiencies*, Actar, Barcelona.

Finsterwalder Rudolf, 2011, *Form follows Nature*, Springer, Wien New York.

Gleick James, 1996, *Chaos –Narodziny nowej nauki*, Zysk S-ka, Poznań.

Heller Michał, Życiński Józef, 1996, *Dylematy ewolucji*, Wydawnictwo Diecezji Tarnowskiej. Biblos, Tarnów.

Hubble, https://www.spacetelescope.org/images/

Jodidio Philip, 1998, *Nowe Formy Architektura lat dziewięćdziesiątych XX wieku*.

Mandelbrot Benoit, 1982, *The fraktal geometry of nature*, San Francisco.

Munari Bruno, 1980 *Diseno y comunicacion visual*, wyd. Gustavo Gili, S.A.

Picon Antoine, 2010, *Digital Culture in Architecture*, Birkhauser Basel.

Słownik, *Słownik Języka Polskiego*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa.

Spuybroek Lars, 2004, *NOX machining architecture*, Thames & Hudson.

Stewart Ian, 1996a, *Czy Bóg gra w kości – Nowa matematyka chaosu*, PWN, Warszawa.

Stewart Ian, 1996b, *Liczby natury*, wyd. CIS, Warszawa.

Szparkowski Zygmunt, 2012, *Podstawy inspiracji architektury – Ruchomy punkt, linia, spiral*, Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa.

Szparkowski Zygmunt, 2014, *Nowe inspiracje architektury; Fraktale i chaos*, Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa.

Żórawski Juliusz, 1978, *O budowie formy architektonicznej*, Warszawa, wyd. Arkady.

Chaos and order of architecture

SUMMARY

Fractal geometry and the mathematics of chaos, relatively recently recognized and applied, made it possible to thoroughly recreate the visual side of nature in architecture as well as in other visual arts. They had a revolutionary influence on shaping any given form, which had been unattainable when applying traditional geometries.

Architecture is the art of analogy subjectively processing different sensation observed in nature. It has been proved that new architectural inspirations might derive ideas from two aspects: one- there have emerged possibilities to generate all kinds of space, surfaces and solids; the other – new inspirations have been about transforming in architecture of new discoveries, ideas and imaginations of mathematicians, physicists, geneticists, cosmologists etc.

As a result, difficulties have arisen, which have not been satisfactorily overcome, even with modern advancements in digital architecture. One of the main limitations are human habits and psychological conditioning. A human being is not willing to adjust to new shapes, which they consider incomprehensible, unfriendly or simply unacceptable.

Nevertheless, digital architecture brings new values, consciously not taken in consideration by traditional architecture. They are universally called" patterns of nature", which may constitute a positive aspect of digitalization.

prof. zw. dr hab. arch. Zygmunt Szparkowski, *pracownik Wydziału Architektury Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie, emerytowany profesor zwyczajny na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej, były kierownik studiów doktoranckich na Wydziale Architektury PW, członek Izby Architektów RP; specjalizuje się w: projektowaniu architektonicznym, systemach proekologicznych architektury środowiska pracy, inspiracjach architektury, zasadach kształtowania przestrzeni architektonicznej / Faculty of Architecture Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Professor emeritus of Warsaw University of Technology at Faculty of Architecture, the former manager of Doctor Studies at Faculty of Architecture of Warsaw University of Technology, the chamber member of polish architects; field of interests: architectural design , sustainable system of industrial architecture, architecture inspirations, the rules of space creation in architecture; kontakt/contact: z.szparkowski@gmail.com*