Maria Helenowska-Peschke*

SZTUKA I MATEMATYKA – ALGORYTMICZNE I PARAMETRYCZNE DETALE

ART AND MATHEMATICS – ALGORITHMIC AND PARAMETRIC ARCHITECTURAL DETAILS

Opracowanie dotyczy wykorzystywania metod obliczeniowych do projektowania dzieł architektonicznych, w których geometria formy, detal struktur i efekty materiałowe są efektem spójnej reguły generatywnej. Nowatorskie biura tworzą własne narzędzia na poziomie języków programowania (algorytmy) czerpiąc z abstrakcyjnych koncepcji i procedur matematycznych. W konsekwencji algorytmiczne i parametryczne strategie projektowania w połączeniu z fabrykacją CNC podnoszą rolę detalu i ornamentu jako środka ekspresji idei projektowej.

Słowa kluczowe: algorytmy generatywne, projektowanie parametryczne, masowa indywidualizacja

The paper concerns with the use of computational methods for architectural design, in which the form geometry, structural details and material effects are the result of a coherent, generative rules. An innovative offices create their own tools at the level of programming languages, exploring abstract mathematical concepts and theories. Consequently algorithmic and parametric design strategies in conjunction with CNC fabrication increase the role of detail and ornament as means of expressing design idea.

Keywords: generative algorithms, mass customization, parametric design

Wprowadzenie

Podważając długoletnie tradycje estetyczne, wynikające z ujednolicenia przemysłowych technik, znajdujemy się obecnie na o wiele bardziej korzystnej pozycji by powrócić do ornamentu, nieobecnego w architektonicznej modzie przez większą część XX wieku.

B. Koralevic. K. Klinger, 2008

Na przestrzeni wielu dekad XX, pod wpływem idei modernizmu, za nowoczesne postrzegano dzieła o zdyscyplinowanej, geometrycznej formie i oszczędnym detalu. Architekci zdawali się kierować zarówno minimalistycznym poglądem Miesa van der Rohe, iż „mniej znaczy więcej" jak i opinią Adolfa Loosa, że postęp i rozwój kultury przejawia się brakiem ornamentu. Współcześnie jednak postęp informatyczny

* Helenowska-Peschke Maria, dr inż. arch., Politechnika Gdańska, Wydział Architektury, Katedra Sztuk Wizualnych.

i technologiczny manifestuje się powrotem ornamentu i dekoracyjności. Projektanci eksplorują potencjał generatywnych metod obliczeniowych, wychodząc poza powierzchowne zniekształcanie formy czy „naklejanie" dekoracji, ku integralności kompozycyjnej, strukturalnej i funkcjonalnej całości oraz elementu. Traktują narzędzia komputerowe jako przedłużenie intelektu, a nie zagadnienie czysto techniczne, które można pozostawić analitykom systemów i programistom. Eksperymentują, tworząc własne narzędzia do specyficznych zadań projektowych, na poziomie definiowania algorytmów kontrolujących operacje wykonywane przez komputer. Takie podejście do projektowania ma często głębsze uzasadnienie, niż eksperymentowanie estetyczne i stylistyczne *samo dla siebie*. Programowanie jest aktem komunikowania i sposobem reprezentowania świata w sposób symboliczny. „Proceduralna reprezentacja nie jest statyczna. Jest systemem reguł, które definiują przestrzeń możliwych form i akcji". (Reas C., McWilliams C.). Eksploracja idei architektonicznej staje się działaniem konceptualnym inspirowanym abstrakcyjnymi pojęciami, procedurami i teoriami matematycznymi.

Wiele spektakularnych realizacji ostatnich lat stanowi dowód potencjału twórczego strategii parametrycznych. Ich istota polega na definiowaniu relacji między elementami hierarchicznej struktury, między całością a elementem. W ujęciu parametrycznym detal nie jest już autonomicznym obiektem w mniejszej skali dopełniającym architekturę, ale koherentnym fragmentem opowieści o tworzonej przestrzeni. Strategie algorytmiczne i parametryczne w połączeniu z fabrykacją CNC, dają niespotykaną wcześniej swobodę kształtowania formy i detalu, wynikającą z możliwości masowego wytwarzania zindywidualizowanych elementów oraz uzyskanie efektów materiałowych niedostępnych przy wykorzystaniu tradycyjnych technologii. Detal i ornament strukturalny, podporządkowany konceptualnym i racjonalnym wymogom, osiąga rangę nośnika głównej idei projektowej wychodząc poza style i mody.

Algorytmiczny detal

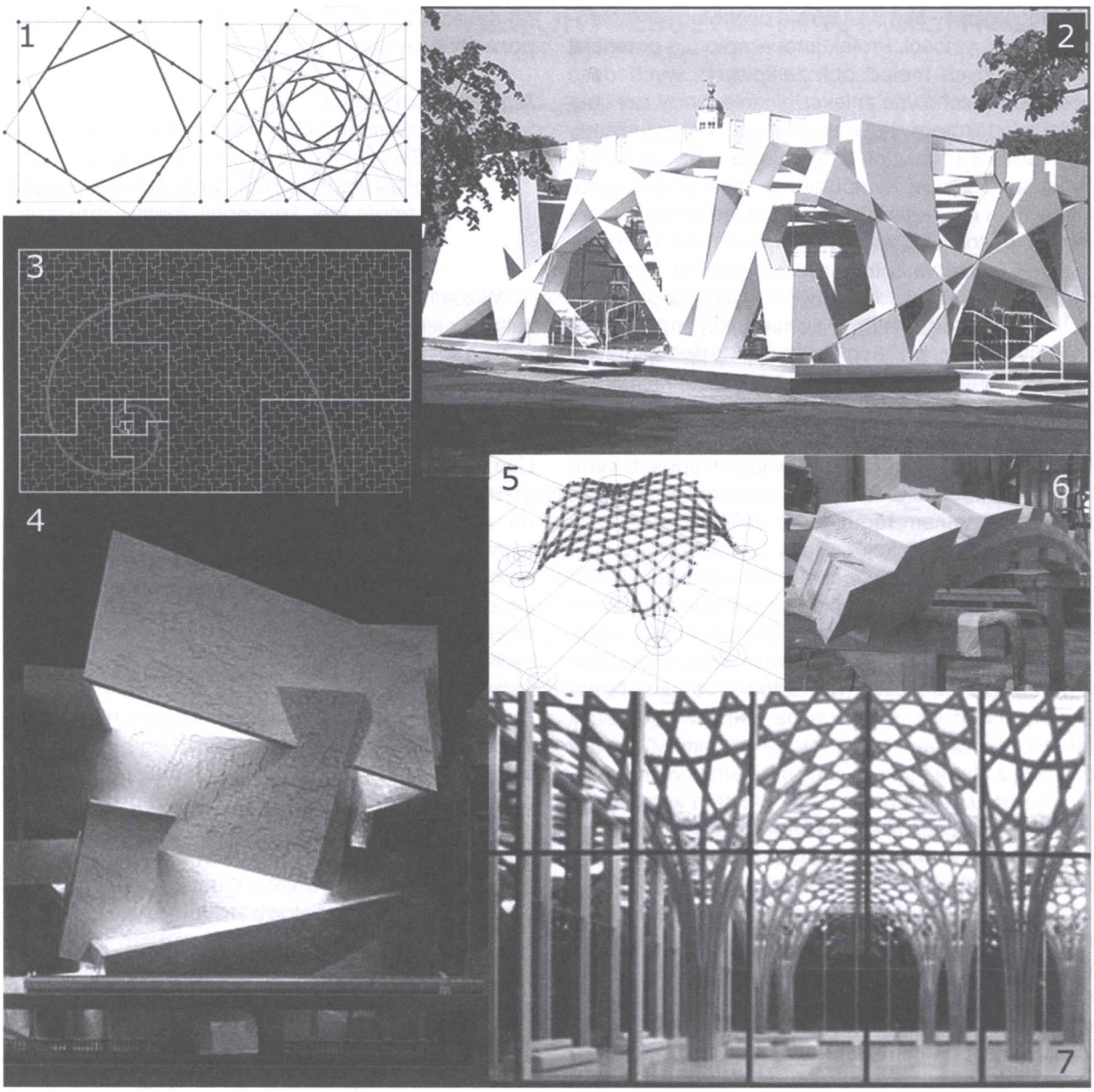
Matematyka jest jak jaskinia skarbów Ali Baby, która przez wieki w różnych światowych kulturach stanowiła dla odwiedzających źródło idei, koncepcji, formy i rozwiązań.

J.-M. Kantor, 2005

Wizualne desenie w sztuce są w swej istocie rezultatem algorytmów zawierających określone reguły tworzenia kompozycji, które można z łatwością zakodować w postaci komputerowej aplikacji. Algorytmy zapisane w jednym z wielu języków programowania lub skryptowych (MAYA Embedded Language, AutoLisp, Visual Basic Script itp.) bazują na procedurach głęboko wbudowanych w języki programowania, np. rekurencji. Rekurencja (pętle) jest podstawową techniką programowania i w swej istocie naśladuje procesy występujące w naturze. Polega na odwołaniu się do funkcji wewnątrz tej samej funkcji ze zmianą oryginalnego parametru. Ilość procedur, wywołujących samą siebie jako swojej część, nie ma w tym wypadku znaczenia.

Przykładem zastosowania procedury rekurencyjnej w celu uzyskania niepowtarzalnego efektu plastycznego za pomocą detalu strukturalnego jest *Serpentine Gallery Pavilion* (Londyn, 2002) projektu Toyo Ito. Projekt powstał przy współpracy programistów z Advanced Geometry Unity stanowiącej jednostkę organizacyjną firmy ARUP . Według członków AGU „Toyo Ito rozpoczął dialog za pomocą szkicu kostki z serią przypadkowych, przycinających się linii na dachu i pionowych kolumn. Naszym zadaniem było znaleźć prawidłowość, algorytm, który wygeneruje chaos z jego „zawiłym" pięknem i ukrytą regułą, która umożliwi realizację budowy w 14 tygodni. Wychodzimy od arbitralnego założenia i krytycznie oceniamy

1–2. *Serpentine Gallery Pavilion* proj. Toyo Ito,AGU, źródło: http://www.artofthestate.co.uk/london_photos/Serpentine_Gallery_Pavillion.htm
3–4. *Victoria i Albert Museum* proj. D.Libeskind, C. Balmond, Londyn, źródło *1:* http://www.overworld.eu/site/?p=565&lang=en
5–7. *Yeoju Golf Resort* proj. Shigeru Ban, DesigntoProduction, *źródło: archiwum Design to Producton*



różnorodne rezultaty, które powstają na skutek zmiany wyjściowej reguły". W pierwszym kroku algorytmu podzielono wszystkie boki kwadratowego planu pawilonu w stosunku 1:3 i 1:2. Połączenie środków każdego z boków z punktem znajdującym się w odległości 1:3 długości sąsiedniego boku, wyznaczyło kierunki boków kolejnego kwadratu (częściowo wpisanego w ten pierwszy, ale z obciętymi narożnikami) (il. 1). Uzyskano kwadrat, o polu równym 69% pola pierwszego kwadratu. Następnie w procedurze rekurencyjnej powtórzono tę samą zasadę podziału boków i łączenia punktów podziału dla drugiego i kolejnych kwadratów. Algorytm wyznaczał kierunki linii tworzących spiralę z kolejnych „obciętych" kwadratów. W następnym kroku wszystkie boki kwadratów zostały wydłużone tworząc wzór, który „zagięto" na pionowe ściany budynku. Wygenerowane linie wyznaczyły osie głównych belek, które stanowią konstrukcję nośną dachu i strukturalne wzmocnienie płaszczyzn ścian. Konstrukcja dziedziczy hierarchię geometrii wyjściowej – główna spirala kwadratów stanowi główny układ belek. Przedłużenia boków kwadratów, stanowiących główną spiralę, określają położenie drugorzędnych elementów konstrukcji, zapobiegających wybrzuszaniu głównych belek. Geometryczna – strukturalna hierarchia jest widoczna w stopniowym powiększaniu przekroju belek od środka pawilonu ku obwodowi, gdzie naprężenia są większe. Rygorystyczna reguła zazębiającej się spiralnej kompozycji, ułatwiła również wyodrębnienie w strukturze serii oddzielnych elementów o parametrach ułatwiających transport i montaż. Konstrukcja została podzielona na wzajemnie wspierające się i stabilizujące panele, przy czym każdy panel składa się z głównej belki i serii zespawanych elementów napinających. W efekcie rekursywnego powtarzania prostej reguły uzyskano niezwykle bogaty i skomplikowany wzór, który definiuje zarówno strukturę budynku, jak i stanowi dekoracyjny detal (il. 2).

Podobne podejście do poszukiwania spójnego charakteru całości geometrii z detalem i ornamentem przyjął Daniel Libeskind przy rozbudowie muzeum Victoria i Albert Museum (Londyn, 2006). Sercem projektu jest rozczłonkowana spirala, która zwija się i rozwija wokół przesuniętej względem środka budynku centralnej osi, stanowiąc metaforę zmiennego biegu dziejów. Obiekt cechuje ścisły związek między formą a funkcją, między zewnętrzną powłoką i zawartością, sprzyjający sekwencyjnemu „odczytywaniu" muzeum i jego treści. Projekt, powstały przy współpracy z Cecilem Balmondem, przenosi pojęcie fraktala [1] w trzeci wymiar. Przebieg budynku generuje ostateczną formę, zrodzoną z wewnętrznej logiki jej części składowych. „Ta logika jest owocem geometrii fraktalnej, którą na przestrzeni ostatnich lat eksplorował C. Balmond. Szereg wielokątów został poddany podziałowi na mniejsze wielokąty, które następnie powtórnie podzielono i powtórnie, tak aby stworzyć nieskończoną różnorodność kształtów i form w postaci niecyklicznego deseniu" (D. Costedoat, 2010) (il. 3). Spiralna bryła budynku jest od zewnątrz pokryta płytkami ceramicznymi „fraktalami", których geometria tworzy deseń integralny ze strukturą ściany, niosąc w sobie formalną logikę modularnej skali i proporcji. Dzięki swojej subtelnej gamie odcieni i faktur, płytki ożywiają fasadę podkreślając konceptualny charakter dzieła i żądaną ekspresję. W rezultacie powstała zupełnie nowa i niespodziewana estetyka spójna dla całej geometrii obiektu, rozrzeźbienia formy i detalu wykończenia fasady. Powtarzalność i modularność ujawnia porządek hierarchiczny koncepcji, a całość prowokuje widza do szukania ukrytej reguły (il. 4).

Parametryczny detal

Bez narzędzi nie byłoby możliwe realizowanie idei, a bez idei narzędzia pozostałyby martwe.

B. Koralevic, 2010

W strategiach projektowania cyfrowego ostatniej dekady dużego znaczenia nabrały techniki parametryczno-assocjacyjne. Model parametryczny nie zawiera sztywnego opisu formy, ale definicję relacji przestrzennych między elementami składowej geometrii oraz zadeklarowane zasady dziedziczenia określonych cech geometrycznych na podrzędne elementy hierarchicznej struktury. Strategia parametryczna polega na „obliczaniu" formy dla zmiennych wymogów (parametrów), co umożliwia jej wariantowanie i optymalizację pod kątem funkcjonalnym, efektywności struktury, estetyki, kosztów realizacji, zużycia materiałów, itd. [2]. Jest to możliwe dzięki temu, że zaawansowane graficzne interfejsy współpracują z silnikami do analiz, nawet wówczas gdy geometria formy nie jest jeszcze ostatecznie zdeterminowana. Modyfikacje zachowują związek między globalną geometrią a lokalnymi elementami strukturalnymi oraz na poziomie geometrii lokalnej, to znaczy między detalami.

Doskonałym przykładem projektu, w którym strukturalną stabilność ażurowej konstrukcji „dostrojono" za pomocą technik parametrycznych, stanowi projekt dachu nad halą główną budynku Yeoju Golf Resort autorstwa Shigeru Ban'a (Korea, 2010). Ażurowy baldachim o wymiarach 36 × 72 m jest skonstruowany z drewnianych, kunsztownie „splecionych wiązarów" spływających do dołu regularnymi wiązkami niby kolumn. Rysunek splotu siatki został dosłownie przetworzony na konstrukcję powłokową, przywodzącą na myśl gotyckie sklepienie (il. 5). Współpracujący z Shigeru Ban programiści z firmy Design to Production, podążając za intencją projektanta, stworzyli własne oprogramowanie generujące referencyjny model geometrii dachu. Kształt baldachimu został zdefiniowany przez matematycznie wyznaczalne powierzchnie, stanowiące bazę do obliczeń statycznych. Strukturalną wykonalność formy architektonicznej zapewniał odpowiedni dobór granicznych parametrów, które wyznaczały zakres dopuszczalnych modyfikacji Obiekt cechuje się przejrzystą kompozycją i układem konstrukcyjnym oraz logicznym ukształtowaniem bryły, wypływającym z kierunków działania sił, który nadaje wrażenie stabilności. 21 smukłych kolumn (rozstawionych na siatce 9 × 9 m) podtrzymuje 32 dachowe heksagonalne elementy, złożone z ponad 3500 precyzyjnie wykonanych prefabrykatów z klejonego laminowanego drewna o przekroju dobranym pod kątem właściwej statyki. Wygenerowano prawie 470 trójwymiarowych modeli różnych drewnianych komponentów wraz z detalami ponad 15000 łączeń. Aplikacja umożliwiała bezpośrednie sprzężenia danych opisujących model cyfrowy z danymi sterującymi procesem fabrykacji CNC, a także montażem elementów. Detale struktury zostały wyprodukowane za pomocą cyfrowej obróbki w trzech wymiarach z dokładnością do dziesiętnych części milimetra (il. 6). Kawałki drewna do wycięcia konkretnych elementów analizowano komputerowo również pod kątem minimalizacji odpadów. W finalnej strukturze ażurowy detal elementów powłoki jest nieodzowną częścią konstrukcji, a równocześnie posiada walory ornamentu nawiązującego do lokalnych tradycji (il. 7).

Podsumowanie

Technologie projektowania algorytmicznego i parametrycznego dają dużą swobodę w eksperymentach formalnych, funkcjonalnych i strukturalnych. Możliwość cyfrowej analizy i generowania informacji projektowych oraz ich bezpośredniego przesyłu do produkcji, fundamentalnie przedefiniowała związek między koncepcją projektową a realizacją, między geometrią a materią oraz między światem abstrakcyjnym i zakodowanym a prawdziwym i zmaterializowanym. Dla „cyfrowych architektów" tworzenie dzieła architektonicznego zaczyna się na etapie oprogramowania i narzędzi technologicznych [3]. Eksplorując potencjał generatywnych metod komutacyjnych, na poziomie języków programowania i języków

skryptowych, zyskują wielopoziomową kontrolę nad projektowaną formą oraz jej strukturą i detalem, co skutkuje pełną integralnością całokształtu dzieła architektonicznego. Detal i ornament nie stanowią dodatku „naklejonego" na elewację, ale powstają i rozwijają się równolegle do pracy nad całością konstrukcji. Podejście takie ma precedens zarówno w tradycji gotyckich katedr, dziełach Gaudiego jak i postulowanej przez Louisa Sullivan'a potrzebie zgodności ekspresji wnętrza i zewnętrza budynku.

Wyróżniającą cechą cyfrowych procedur jest możliwość tworzenia złożonych, skomplikowanych wzorów poprzez rekursywne powtarzanie określonych reguł i ich modyfikację. Algorytmy generujące ornament powierzchni i detal strukturalny zaskakują niespotykaną, „matematyczną estetyką", testującą nasze doświadczenie, czasami balansującą na granicy wizualnego chaosu. Wynika ona jednak z abstrakcyjnych, rygorystycznych koncepcji i reguł matematycznych oraz fizycznych uwarunkowań pracy konstrukcji. Fundamentalna dla nowego paradygmatu jest współpraca architektów ze specjalistami z innych dziedzin takich jak programowanie, technologia materiałowa i technologie cyfrowego wspomagania fabrykacji. Przytoczone przykłady realizacji, wykorzystujące nowoczesne, cyfrowe metody projektowania, są wyrazem potencjału płynącego z interdyscyplinarnego podejścia do projektowania architektonicznego oraz kulturotwórczej siły technologii.

Projekt został sfinansowany ze środków
Narodowego Centrum Nauki

PRZYPISY

[1] Fraktale, czyli wielokrotnie powtarzane motywy, charakteryzują się tym, że ich części składowe są pomniejszonym obrazem całości (najprostszymi fraktalami są: płatek Kocha, drzewo binarne, plaster miodu czy Trójkąt Sierpińskiego).

[2] Wygenerowana forma, bez względu na stopień geometrycznej złożoności, może być bardzo precyzyjnie i w sposób zautomatyzowany transformowana w strukturę budowlaną. Komputerowe narzędzia umożliwiają rozłożenie geometrii na komponenty (elementy konstrukcji, panele) i bezpośrednie sprzężenie danych modelu cyfrowego z procesem fabrykacji CNC.

[3] Umiejętność korzystania z aplikacji CAM sterujących narzędziami CNC umożliwia również eksplorację efektów materiałowych (reliefy, perforacje, wtłoczenia itp.) poprzez staranne projektowanie ścieżek pracy frezów i obrabiarek.

BIBLIOGRAFIA

Koralevic B., *Surface Effects: Ornament in Contemporary Architecture, Proceedings Game Set and MatchII*, Rotterdam 2006.

Reas C., McWilliams C., *Form+Code in Design, Art and Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 2010.

Meredith M., Aranda-Lasch, Sasaki M., *From Control to Design*, Actar 2008.