

Maria Helenowska-Peschke\*

## WITRUWIAŃSKA TRIADA A PROJEKTOWANIE PARAMETRYCZNO/ ALGORYTMICZNE

### VITRUVIAN TRIAD AND THE PARAMETRIC/ALGORITHMIC DESIGN

Opracowanie podejmuje zagadnienie aktualności przesłania Witruwiusza dotyczącego trwałości, użyteczności i piękna w odniesieniu do architektury tworzonej za pomocą cyfrowej metody projektowania – parametryczno/algorytmicznej, którą cechuje integracja projektu architektonicznego, konstrukcyjnego, produkcji i montażu w jeden ciągły proces. Autorka podając krótką charakterystykę metody i przykłady realizacji przedstawia możliwą reinterpretację formuły Witruwiusza, zachowując intencje jej twórcy i uwzględniając nowy obraz rzeczywistości.

*Słowa kluczowe : projektowanie parametryczno/algorytmiczne, teoria Witruwiusza*

The paper deals with the validity of Vitruvius's triad in relation to the architecture associated with parametric/algorithmic design method, characterized by the integration of architectural design, structural design, manufacture and installation in one continuous process. The author giving a brief description of the method and some examples of implementation discusses reinterpretations of Vitruvius's formula taking into account the intentions of its creator and new concept of reality.

*Keywords: parametric/algorithmic design, theory of Vitruvius*

#### **Wprowadzenie**

*Porzuciwszy dyskurs o stylach, nowoczesna architektura jest określana przez swoją zdolność do korzystania z określonych osiągnięć nowoczesności – innowacji dostarczonych architekturze przez współczesną naukę i technologię (Ignasi de Sola Morales, 1997).*

Jednym z najbardziej znaczących czynników kształtujących architekturę ostatniego ćwierćwiecza jest gwałtowny rozwój technologii informatycznych. Spowodował on zmiany zarówno w sposobie my-

ślenia o architekturze, metodach projektowania, jak i technologiach budowlanych. Nowatorska architektura przyjmuje postać od nieforemnych „blobów” [1] po eleganckie faliste kształty, od rozdrobnionych fraktali po abstrakcyjne bazy danych. Zwolennicy niekonwencjonalnych budowli dostrzegają w nich emocje i fantazję. Przeciwnicy utrzymują, że brakuje im elegancji, dyscypliny i piękna, które daje zachowanie modułu, proporcji i symetrii. Ponad dwa tysiące lat temu Marcus Vitruvius Pollio w dziele *De architectura libri decem* podał cechy konieczne dla istnienia architektury. Są to trwałość (*firmitas*), użyteczność

\* Maria Helenowska-Peschke, dr inż. arch., Politechnika Gdańska, Wydział Architektury.

(*utilitas*) i piękno (*venustas*). Współcześnie, piękno uważane jest za pojęcie subiektywne, złożone i pełne niepewności. Jako że w epoce Witruwiusza wizja piękna została zdefiniowana, komponowanie budowli stosownie do reguł stanowiło gwarancję ich wartości (pozwalalo wyjaśnić i wytłumaczyć stworzone dzieło). Z chwilą gdy programy CAD przeszły drogę rozwoju od manualnego modelowania do obliczeniowych sposobów przetwarzania geometrycznych informacji, wykorzystując osiągnięcia współczesnej nauki, terminy, takie jak uporządkowanie i proporcje, straciły dominujące znaczenie mimo historycznych uwarunkowań [2]. Klasyczna geometria opierała się na bryłach euklidesowych i całkowitych podziałach, jednak dzięki rozwojowi rachunku różniczkowego architektura uwolniła się od konieczności posługiwania się formami idealnymi, sztywnymi jednostkami.

Tematem niniejszego opracowania jest analiza pewnych aspektów współcześnie powstających nowatorskich realizacji architektonicznych i eksperymentalnych poszukiwań z perspektywy postulatów Witruwiusza. Poruszony zostanie problem na ile komputerowe metody projektowania określają obecnie zasady kompozycji i język architektoniczny pełniąc w architekturze taką samą rolę jak kiedyś teorie „akademików”.

W literaturze dotyczącej zagadnień związanych z wykorzystaniem komputerów w projektowaniu coraz częściej zwraca się uwagę na różnice między takimi terminami jak architektura cyfrowa (*digital architecture*) i projektowanie cyfrowe (*digital design*). O ile pierwsze implikuje wykorzystanie komputerów jedynie w procesie generowania formy (np. do tworzenia form arbitralnie zdefiniowanych przez projektanta) drugie wiąże się z wykorzystaniem mocy obliczeniowej do generowania rozwiązań projektowych (komputer staje się niejako partnerem projektanta). Do metod projektowania, które można określić mianem cyfrowych zalicza się metoda parametryczno/algebraiczna, która jest zwykle wspomagana przez oprogramowanie do obliczeń statycznych i analiz środowiskowych.

### Projektowanie parametryczne i algebraiczne

Cechą projektowania parametrycznego jest myślenie o budynku jako zhierarchizowanym systemie komponentów, które tworzą identyfikowalne podsystemy oraz integracja procesu projektowania z fabrykacją. Parametryczne metody projektowania bazują na wielkościach matematycznych opisujących współzależności przestrzenne między komponentami i dążą do ich płynnej organizacji [3]. Definiowanie relacji odbywa się bądź graficznie za pomocą oprogramowania zapamiętującego zależności geometryczne bądź też algorytmicznie za pomocą kodowania. Proces kodowania polega na zdefiniowaniu szeregu procedur i zmiennych je warunkujących, w rezultacie których uzyskuje się ostateczną formę.

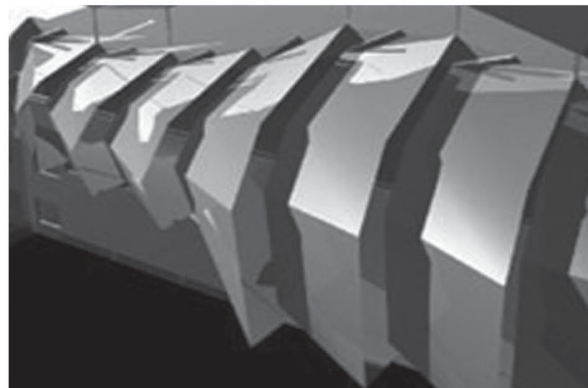
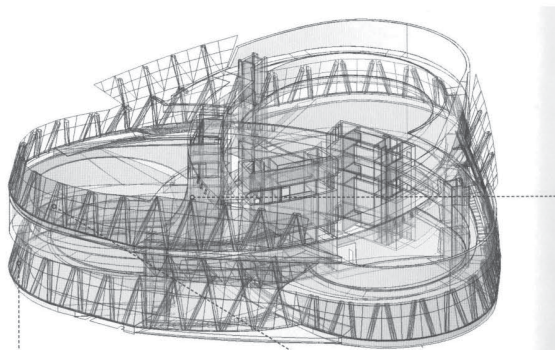
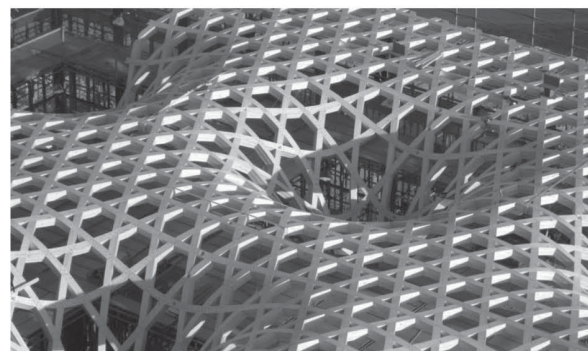
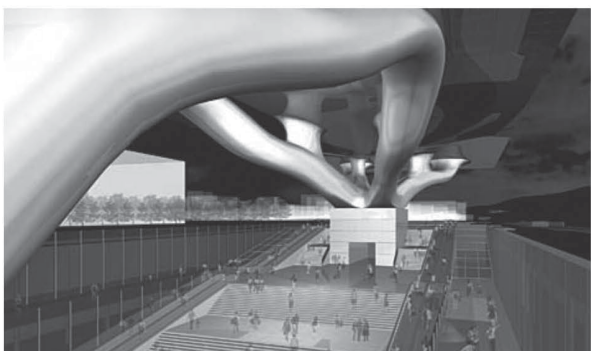
Z kolei metody algorytmiczne polegają na wykorzystywaniu algorytmów do poszukiwań rozwiązań projektowych. Algorytmy, rozumiane jako strategiczny plan rozwiązania znanego problemu za pomocą skończonej ilości kroków, nie są wyłącznie domeną komputerów. W przeszłości dzieło Witruwiusza przez lata dostarczało algorytmy postępowania dla architektów. Istotą współczesnego projektowania architektonicznego jest to, że mamy do czynienia z problemami, których rozwiązanie jest niejednoznaczne lub niedostatecznie zdefiniowane i przez to trudne do matematycznego ujęcia. Wynik działania algorytmu jest często nieprzewidywalny (ponieważ logika komputera jest inna niż człowieka) dzięki czemu powstają rozwiązania leżące poza granicami ludzkiego doświadczenia.

### Firmitas czyli trwałość

Witruwiusz dowodził, że trwałość jest jedną z zasadniczych cech budowli, a w opisach dzieł architektonicznych zwykło się mówić o sposobie konstruowania. Szczegółowe rozwiązania techniczne są znakiem czasu, w których powstały. Integracja projektu architektonicznego, konstrukcyjnego, procesu produkcji i montażu w jeden ciągły proces, jak



1. Groningen Stadsbalkon, Groningen 2. New Florence Station, projekt konkursowy 3. Mercedes-Benz Museum, Stuttgart – model parametryczny 4. Hungerburg Funicular Stations, Innsbruck 5. Yeosu Golf Resort, Yeosu 6. Korean Presbyterian Church of New York



ma to miejsce w projektowaniu parametryczno/algebraicznym, posiada ogromne konsekwencje dla rozwiązań konstrukcyjnych i efektywności budowania. Charakterystyczne dla cyfrowego projektowania jest współpraca architekta i konstruktora przez cały proces projektowania co umożliwia połączenie architektonicznej intencji i swobody projektowania formy z kreatywnością inżynierską zmierzającą do zdefiniowania strategicznych założeń pracy struktury.

Optymalizacja struktury wykonywana jest za pomocą zaawansowanych aplikacji do obliczeń statycznych umożliwiających pomiary i ocenę powierzchni swobodnych. Jako przykład tak realizowanego procesu można podać projekt konkursowy United Architects na New European Central Premises opracowany przy współpracy inżynierów z biura Osd [4]. *Uprzednio inżynierowie deklarowali, że logika formy jest techniczną logiką. Dzisiaj forma jest również otwarta dla logiki architektonicznej. W procesie integracji struktura już dłużej nie stanowi jedynej przesłanki dla logiki systemu, raczej architektura i struktura razem definiują logikę formy* (H. Klofta, 2006).

Wykorzystanie metody algorytmicznej pozwala czerpać rozwiązania projektowe ze strukturalnej perfekcji naturalnych systemów.. Przykładem zastosowania algorytmu do optymalizacji rozwiązania projektowego jest budynek Groningen Stadsbalkon projektu KCAP (rys. 1). Odpowiedni algorytm wykorzystujący badania nad formami sztucznego życia, pozwolił zoptymalizować dokładną pozycję, nachylenie i wytrzymałość 150 nieregularnie rozmieszczonych kolumn z zachowaniem funkcjonalności przestrzeni i wymagań konstrukcyjnych. Program umożliwił wybranie rozwiązania spośród wielu alternatywnych propozycji.

Interesującym przykładem wykorzystania algorytmu opartego na samoorganizacji żywych organizmów jest projekt konkursowy Arata Isozaki na nową stację metra we Florencji (il. 2). Koncepcja przestrzennej konstrukcji wzorowana jest na procesie wzrostu tropikalnego bananowca.

Perfekcyjna optymalizacja rozwiązania konstrukcyjnego poprzez zapewnienie zgodności formy budowli z jej strukturą i czerpanie rozwiązań z praw rozwoju naturalnych struktur wydaje się pokrywać z celem jaki kryje się za Witruwiuszową fermitas.

### **Utilitas czyli użyteczność**

Użyteczność czy też funkcjonalność budynku wynikająca z klimatu, oświetlenia, akustyki a także przeznaczenia może również stanowić przedmiot projektowania parametryczno/algebraicznego i algebraicznego. Skomplikowany sposób użytkowania budynków, specjalistyczne procesy technologiczne powodują konieczność kontroli dużej ilości informacji co jest możliwe dzięki komputerom. Ponadto procedury parametryczno/algorytmiczne pozwalają na dostosowanie rozwiązań projektowych do otoczenia i warunków środowiskowych w celu np. zmniejszenia zużycia energii na ogrzewanie w zimie, lub chłodzenie w lecie.

Odbywa się to za pomocą oprogramowania do analiz środowiskowych (np. komputerowa dynamika płynów, używana do analizy wiatru jest naturalnej wentylacji, czy symulacji ruchu ludzi). Wykorzystuje się do tego oprogramowania do analiz środowiskowych (np. komputerowa dynamika płynów, używana do analizy wiatru jest np. stosowana przy projektowaniu naturalnej wentylacji, symulacje ruchu ludzi są używane przy projektowaniu komunikacji w dużych obiektach takich jak lotniska itp.).

Przykładem obiektu, w którym metoda projektowania parametryczno/algorytmicznego została zastosowana w odniesieniu do całości zagadnień projektowych (układ konstrukcyjny, elewacje, rozkład pomieszczeń i ich wielkość, schemat komunikacyjny itp.) jest Mercedes-Benz Museum autorstwa UN STudio Stuttgart 2005 (il. 3). Cały projekt został oparty na kompozycji okręgów, stycznych i punktów przecięcia stopniowo redukowanej go geometrii potrzebnej do stworzenia projektu. Wszystko w tym budynku począwszy od szerokości pochylni, wymiarów betonowych



płyt, wysokości kondygnacji zostało skoordynowane i zaprojektowane za pomocą modelu parametrycznego. Dzięki temu architekci mogli zbadać alternatywne rozwiązania funkcjonalne, które spełniały wszystkie zadane warunki użytkowania i wymogi strukturalne.

Ze względu na skalę i skomplikowanie projektów, wybranie optymalnego rozwiązania spełniającego zadane kryteria możliwe jest często tylko dzięki komputerowemu badaniu ścieżek prowadzących do potencjalnych rozwiązań, i uzyskiwaniu podpowiedzi, sugestii i alternatyw od komputerowego partnera. Zaprzęgnięcie mocy obliczeniowej komputera do tworzenia rozstrzygnięć projektowych dowodzi, że postulat Wtruwiusza nie stracił na aktualności i odnosi się zarówno do antycznej świątyni jak współczesnych obiektów architektonicznych, których wielkość liczy się w kilometrach raczej niż w metrach (np. lotnisko Kansai Airport pracowni Renzo Piano).

### **Venustas czyli piękno**

*Za jakiś czas architekci „blobów” odkryją nową postać piękna i elegancji w zmysłowych, rytmicznych i falowanych formach wywodzących się z rachunku różniczkowego* (Greg Lynn, 2002).

Możliwość tworzenia bardzo niezwykłych form, możliwie pięknych i wizualnie interesujących bardzo się zwiększyła wraz z rozwojem technologii cyfrowych i nowoczesnych materiałów. Projektowanie parametryczno/algebraiczne cieszy się zainteresowaniem współczesnych architektów, ponieważ umożliwia projektowanie coraz bardziej zaawansowanych form geometrycznych. Początkowo obawiano się, że forma oddzieli się od codziennych potrzeb i wzrok stanie się jedynym zmysłem któremu będzie ona adresowana. (A przecież architektura jest jednak dziedziną, która nie może dać się uwieść pięknu matematycznych formuł ponieważ architekt musi rozwiązywać praktyczne problemy stawiane przez klientów, związane z miejscem i funkcją). W praktyce często naturalne,

krzywoliniowe kształty wynikają z optymalizacji funkcji budynku jak np. wizualne połączenie atriów i ciągów komunikacyjnych lub dostarczenie odpowiedniego oświetlenia o każdej porze roku dla różnych pomieszczeń. Jednak to nie możliwość tworzenia złożonej geometrii ma największe znaczenie dla architektury tworzonej przy pomocy projektowania parametryczno/algebraicznego. Ogromną wagę dla estetyki i ekonomii budowli ma możliwość masowej indywidualizacji stwarzana przez metodę parametryczną. Opisanie tysięcy różniących się między sobą komponentów za pomocą kilku parametrów umożliwia produkcję indywidualnie ukształtowanych części z taką samą łatwością jak dawniej produkowano elementy powtarzalne. Bezpośrednie sprzężenie danych opisujących model cyfrowy z procesem fabrykacji stanowi nowy rodzaj standaryzacji, będący współczesną odpowiedzią na powtarzalność elementów klasycznych budowli.

Przykładem parametrycznej standaryzacji jest kolej linowa Hungenburg projektu pracowni Zahy Hadid. Podwójnie zakrzywione szklane panele są przymocowane do stalowych żeber struktury nośnej przez 2500 zindywidualizowanych profili (il. 4). Dzięki odpowiednim algorytmom cała bryła może być zoptymalizowana w zależności od wewnętrznych związków między jej komponentami. Ze względu na zdefiniowane zależności zmiana jednego elementu systemu pociąga za sobą zmiany elementów sąsiednich i wpływa na wygląd całej struktury.

Za kolejny przykład może posłużyć projekt dachu nad budynkiem Yeosu Golf Resort autorstwa Shigeru Ban'a (baldachim ze splecionych drewnianych dźwiigarów). Oprogramowanie stworzone przez pracownię Designtoproduction pomogło stworzyć referencyjny model geometrii dachu i wygenerować trójwymiarowe modele prawie 470 różnych drewnianych komponentów wraz z detalami ponad 15000 łączy (il. 5).

Przeplatanie się myśli architektonicznej z naukami matematycznymi pozwala wykorzystać potencjał kreatywny ukryty w takich abstrakcyjnych konceptach,



jak: powtarzalność, losowość, rekurencja, fraktale, teoria chaosu, prawo serii itd. Procedury algorytmiczne zapoczątkowały również dyskusję na temat logiki serii. Dotyczy ona lokalnych wariacji i różnic w serii (matematycznie spójnej rodziny zróżnicowanych obiektów). Według G. Lynna w architekturze nie należy dążyć do większej różnorodności, ale do wariacji tego samego elementu, do zindywidualizowanej powtarzalności. Architekt nie tworzy bezpośrednio geometrii bryły, ale kontroluje platformę, która pośrednio kontroluje to, co ma być zaprojektowane – określa reguły genotypu, które prowadzą do potencjalnych różnic – fenotypów. Według Lynna zmieniła się relacja części do całości – całość i część są nieprzerwaną serią. Architektonicznym wyrazem tej teorii w praktyce jest Korean Presbyterian Church of New York (il. 6). Budowla ta jest przykładem twórczej modyfikacji idei klasycznych kolumnad – zachowując rytm i powtarzalność jest wolna od przewidywalności i monotonii. Łatwość tworzenia powtarzalnych, zindywidualizowanych elementów przywróciła również w architekturze dyskurs na temat ornamentu.

W projektowaniu parametryczno/algebraicznym rozwiązania formalne, kompozycyjne wychodzą poza znany repertuar języka architektonicznego. Stanowią całkowicie nową i nieoczekiwaną estetykę, która jednak posiada swe analogie w modułowości, poszukiwaniu optymalnych proporcji i uporządkowania, harmonijnej zgodności między elementami i całością. Witruwiusz uzasadniał piękno odwołując się do natury i matematyki. Współczesna wizja świata stworzona przez postęp naukowy jest dynamiczna i organiczna co znajduje swój wyraz w rozwiązaniach plastycznych.

### Konkluzje

Przez ostatnie dwie dekady architekci tworzyli teorie uzasadniające i interpretujące złożoność form, które tworzyli za pomocą komputerów, filozoficznym i humanistycznymi koncepcjami [5]. Wysiłki zmierzające do uzasadnienia rozwiązań formalnych

z pominięciem roli narzędzi komputerowych bywają oceniane sceptycznie. Według Kostasa Terzidisa próby interpretacji fenomenu cyfrowego w kategoriach humanistycznych wynikają z potrzeby obrony etosu architekta – kreatywnego artysty, wyłącznego pomysłodawcy architektonicznej idei. (K. Terzidis, 2009). Rozstrzygnięcie tej kwestii leży poza zakresem niniejszego opracowania. Należy jednak powiedzieć, że stosowane w projektowaniu architektonicznym metody parametryczne i algorytmy wykorzystują potencjał kreatywny jaki drzemie we współczesnych teoriach matematycznych i pozwalają na reinterpretację klasycznych reguł. Umożliwiają poszukiwanie porządku rygorystycznie modułowego, ale równocześnie nieprzewidywalnego i będącego na granicy chaosu. Oferują uzyskanie nieograniczonej wariacji elementów z równą łatwością jak powtarzalnych modułów. Siła metod cyfrowego projektowania polega również na zdolności do generowania rozwiązań, które wychodzą poza ludzkie doświadczenie. Nie są to metody, które dają gotowe odpowiedzi ale raczej pozwalają na eksplorację wielu alternatyw, równocześnie zapewniając harmonijną zgodności między elementami i całością dzieła. Odpowiedzialność architekta, rola talentu, rzeźbiarskiego wycucia formy i intuicji jest tym większa, że nie ma już obowiązującego kanonu piękna, a pole wyboru znacznie się powiększyło. W przekonaniu autorki możliwości te nie stanowią negacji Witruwiuszowych reguł kompozycji ale ich współczesne rozwinięcie.

Witruwiusz nie miał wątpliwości co do tego, że architektura jest dziedziną interdyscyplinarną korzystającą z wiedzy innych nauk. Korzystanie z potencjału obliczeniowego komputerów wymaga nowych umiejętności przez co zawód architekta zbliża się do zawodu informatyka, inżyniera automatyka i robotyka. W projektowaniu algorytmiczno/parametrycznym to właśnie wiedza informatyczna pozwala architektom zachować kontrolę nad estetyką, strukturą i funkcją budowli, czyli tym, na co wskazywał w swej triadzie Witruwiusz.



## PRZYPISY

[1] Termin blob kojarzony jest zwykle z bańką lub kroplą płynu, podczas gdy jako pierwszy użył go w 1995 Greg Lynn jako skrót od *binary large object* – będącego technicznym określeniem komputerowo wygenerowanego kształtu. Pierwszy architektoniczny „blob” pojawił się na łamach New York Times Magazine w 2002 roku (w artykule Defenestration).

[2] Powierzchnie Nurbs są opisywane matematycznie, jednak dopasowywanie punktów kontrolnych krzywych definiujących te powierzchnie za pomocą myszki stanowi jedynie zwykłą transformację a nie metodę obliczeniową.

[3] Pionierem wykorzystywania równań parametrycznych w projektowaniu architektonicznym był włoski architekt

Luigi Moretti (1907–1973) Wybudowany w latach 1964–1971 kompleks Watergate w Waszyngtonie DC jest przykładem jego „parametrycznej architektury”. Poszukiwania estetyczne doprowadziły go do teorii projektowania, w której łączył zasady klasycyzmu z matematycznymi i funkcyjnymi regułami w celu uzyskania nowej formy.

[4] Osd – Office for Structural Design, Darmstadt, Niemcy.

[5] Twierdzono, że odpowiedzią na złożoność współczesnego świata jest nie formalny konflikt, ale logika krzywoliniowej i giętkiej formy, która jest zdolna objąć w płynny sposób odrębne elementy. Greg Lynn doszukiwał się związku między generowanymi przez algorytmy płynnymi kształtami a filozoficznymi koncepcjami Gilles Deleuze.

## BIBLIOGRAFIA

Basista A., *Architektura, Dlaczego jest jaka jest?*, Znak, Kraków, 2000.

Converso S., Bonatti F., *Parametric Model for Architectural Design*, GameSetandMatch II, Rotterdam, 2006.

Kloft H., *Structural Design of Form, Game Set and Match II*, Rotterdam, 2006.

Mitchell W. J., *Vitruvius Redux, Formalized Design Synthesis in Architecture*, Cambridge University Press, 2001.

Spiller N., *Digital Architecture Now*, Thames and Hudson, 2008.

Sakamoto T., Ferre A., *From Control to Design. Parametric /Algorithmic architecture*, Ingoprint SL, 2007.

Kolarevic B., *Surface Effect, Ornament in Contemporary Architecture*, GameSetandMatch II, Rotterdam, 2006.

Terzidis K., *Algorithmic Architecture*, Architectural Press, 2009.