

PROJEKTOWANIE PARAMETRYCZNE ORAZ PARAMETRYCZNE NARZĘDZIA CYFROWE W PROJEKTOWANIU ARCHITEKTONICZNYM

Krystyna Januszkiewicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Al. Piastów 17,
70-310 Szczecin
E-mail: krystyna_januszkiewicz@wp.pl

PARAMETRIC DESIGN AND PARAMETRIC DIGITAL TOOLS IN ARCHITECTURAL DESIGN

Abstract

The paper focuses on parametric design with digital tools and their role in architecture of the 21st century. It presents the history of the development of parametric design tools and their application in architectural design. The paper clarifies what is parametric design, what tools can use the architect and what results can achieve. Today, parametric design has become a new aesthetic paradigm: architectonic requirements have stimulated the search for new types of structures. Parametric design is defined as a process based on algorithmic thinking that enables the expression of parameters and rules that, together, define, encode and clarify the relationship between design intent and design response. Parametric design is a paradigm in design where the relationship between elements is used to manipulate and inform the design of complex geometries and structures. Parametric design is not a new concept and has always formed a part of architectural design.

Streszczenie

Uwagę koncentruje się na projektowaniu parametrycznym z użyciem narzędzi cyfrowych i ich roli w architekturze XXI wieku. Artykuł przedstawia historię rozwoju parametrycznych narzędzi projektowania i ich zastosowania w projektowaniu architektonicznym. Objaśnia, czym jest projektowanie parametryczne, jakimi narzędziami może posługiwać się architekt i jakie może osiągać rezultaty. Obecnie projektowanie parametryczne stało się nowym paradygmatem estetycznym, od którego wymaga się symulowania nowego rodzaju struktur. Projektowanie parametryczne jest tu definiowane jako proces oparty na myśleniu algorytmicznym, który umożliwia wyrażanie parametrów i zasad, przez które są definiowane, kodowane i wyjaśniane związki między zamierzeniem a odpowiedzią projektową. Proces ten znajduje uzasadnienie w projektowaniu architektonicznym wtedy, gdy zachodzi taka relacja pomiędzy elementami projektu, która wymaga manipulowania informacją dotyczącą złożonej geometrii formy i jej struktury. Projektowanie parametryczne nie jest nową koncepcją i zawsze stanowiło części projektowania architektonicznego.

Keywords: architectural design; digital tools; parametric design; parametric architecture

Słowa kluczowe: projektowanie architektoniczne; narzędzia cyfrowe; projektowanie parametryczne; architektura parametryczna

WPROWADZENIE

Komputerowe wspomaganie projektowania CAD/CAM/CAE oferuje dziś narzędzia, które radykalnie zmieniają praktykę architektury i sposób myślenia o budynkach, ich projektowaniu i realizacji. W wielu miejscach na świecie powstają budowle, które wyróżniają się swoim oryginalnym wyglądem i ukształtowa-

niem. Wielość podejść i postaw sugeruje różnorakie intencje projektantów.

W Polsce w debacie o tej nowej architekturze najczęściej używane są terminy, takie jak „projektowanie parametryczne” oraz „architektura parametryczna”. Odnoszone są one niemal do każdego projektu ar-

chitektonicznego wykonanego przy użyciu cyfrowych narzędzi projektowania, zwłaszcza gdy chodzi o formy krzywoliniowe o wysokim stopniu złożoności geometrycznej i strukturalnej. Wylania się zatem potrzeba uściślenia znaczenia tych terminów w aspekcie rozwoju cyfrowych narzędzi projektowania i zastosowania ich w projektowaniu architektonicznym.

1. PROJEKTOWANIE PARAMETRYCZNE

Projektowanie parametryczne jest to proces oparty na myśleniu algorytmicznym, które umożliwia wyrażanie parametrów i zasad, przez które są definiowane, kodowane i wyjaśniane związki między zamierzeniem a odpowiedzią projektową¹. Proces ten znajduje uzasadnienie w projektowaniu architektonicznym wtedy, gdy zachodzi taka relacja pomiędzy elementami projektu, która wymaga manipulowania informacją dotyczącą złożonej geometrii formy i jej struktury. Potrzebna jest wtedy dobrze sformułowana strategia dla rozwiązań tektonicznych, wystarczająco jasna deskrypcja współzależności poszczególnych elementów, w parametrycznej przestrzeni cyfrowej mogą bowiem powstawać obiekty, które ukazują specyficzny zestaw hierarchicznych zależności pomiędzy ich elementami. Wykorzystują to projektanci, opracowując pełne spektrum rozwiązań, które można analizować, zmieniając wartości parametrów kontrolujących formę.

Przestrzeń parametryczna w topologii, bez której nie byłoby dziś grafiki komputerowej, to uogólnienie przestrzeni metrycznej, bez uwzględniania warunków opisujących symetrię, nierozróżnialność oraz nierówność boków trójkąta. Przyjmując zbiór ze zdefiniowaną odległością dla par elementów, otrzymuje się tzw. metrykę i odpowiednio przestrzeń metryczną. Może być to n -wymiarowa przestrzeń euklidesowa tzn. że do pojęć pierwotnych dochodzą hiperpłaszczyzny o wymiarach aż do $n-1$ włącznie. Przedstawieniem krzywych parametrycznych na płaszczyźnie i w przestrzeni są funkcje ciągłe. Dzięki tym krzywym możliwe są krzywe i powierzchnie NURBS oraz Bezierra² (ryc. 1a-b, ryc. 2a-b, ryc. 3a-b).

Projektowanie parametryczne, zanim weszło do architektury, było już znane w przemyśle samochodowym, lotniczym i okrętowym oraz w projektowaniu

produktów przemysłowych. Hugh Whitehead, Robert Aish, John Parrish i Lars Hesselgren (SmartGeometry Group) w połowie lat 1980 opracowali metodologię parametrycznego projektowania obiektów architektonicznych³. Modelowanie parametryczne zmieniło reprezentację projektu z czytelnego zapisu geometrycznego na instrumentalne powiązania geometryczne.

W przestrzeni parametrycznej może powstać nieskończona liczba podobnych do siebie obiektów geometrycznych, manifestacji przygotowanych wcześniej schematów zmiennowymiarowych czy schematów relacji i działań wzajemnie od siebie współzależnych. Zmiennym przydzielane są określone wartości, a każdy przypadek daje nieograniczony zakres możliwości. Parametry mogą wygenerować atrakcyjne koncepcje architektoniczne, gdy w opisie zastąpi się stałe z jedną zmienną stałymi z wieloma zmiennymi. Aby opisać relacje między obiektami, można stosować równania matematyczne definiujące asocjatywność geometrii, czyli taki składnik geometrii, który sprawia, że obiekty są ze sobą nawzajem powiązane⁴. Zatem w przestrzeni parametrycznej można ustalić zależności między obiektami tak, aby podczas transformacji mogły zachowywać się w zdefiniowany sposób. Właśnie ta zdolność określania, ustalania i rekonfiguracji powiązań geometrycznych jest wyjątkowo cenna⁵ (ryc. 4a-b).

Przekrycie peronów International Rail Terminal Waterloo w Londynie (1990–1993) jest pierwszą zrealizowaną budowlą zaprojektowaną parametrycznie. Nicholas Grimshaw and Partners oraz SmartGeometry Group po raz pierwszy wykorzystali Integraph's Vehicle Design System w projektowaniu architektury. Projekt ten był demonstracją asocjatywnej geometrii oraz korzyści koncepcyjnych. Chodzi o zadanie długich na 400 m peronów, które w swej szerokości zawężają się od 50 do 35 m. Składa się ono z 36 łukowych elementów nośnych o różnych wymiarach, lecz o tym samym kształcie. Najpierw powstał model parametryczny jednego elementu, by na jego podstawie powstała baza reguł generujących rozpiętość i krzywiznę u pozostałych, tak aby były pokrewne. Następnie parametrowi „rozpiętość” przydzielono 36 różnych wartości, lecz identycznych topologicznie, by elementy zostały policzone i wprowadzone do modelu geometrycznego projektowanego obiektu (ryc. 5, ryc. 6a-b).

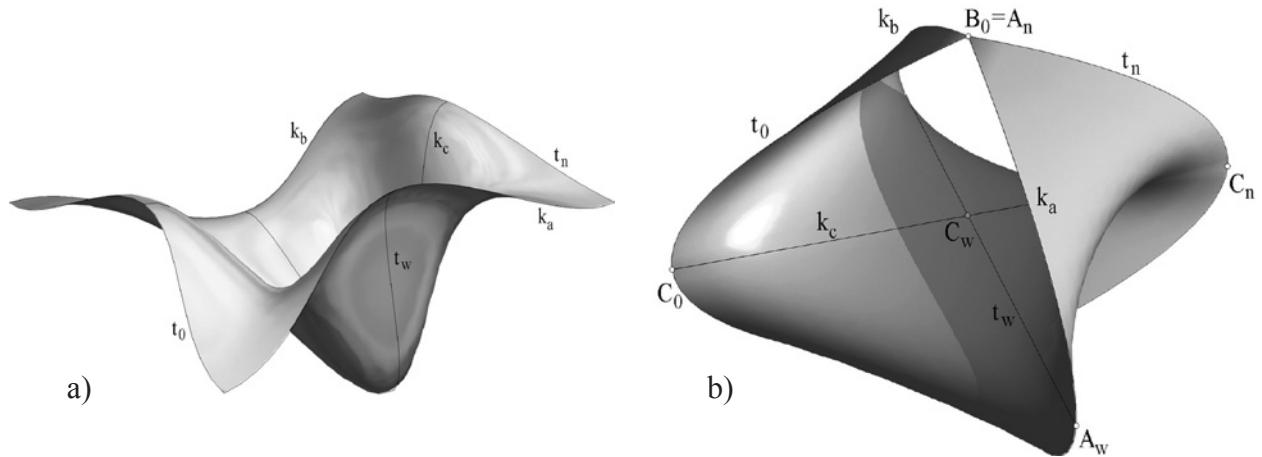
¹ Por. R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, Routledge 2010, s. 32; także: W. Jabi, *Parametric Design for Architecture*, Laurence King, London 2013, s. 27.

² Por. K. Januszkiewicz, *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010, s. 26.

³ Patrz: A. Menges, *Instrumental Geometry*, AD, vol.76, no.2, s. 42-83.

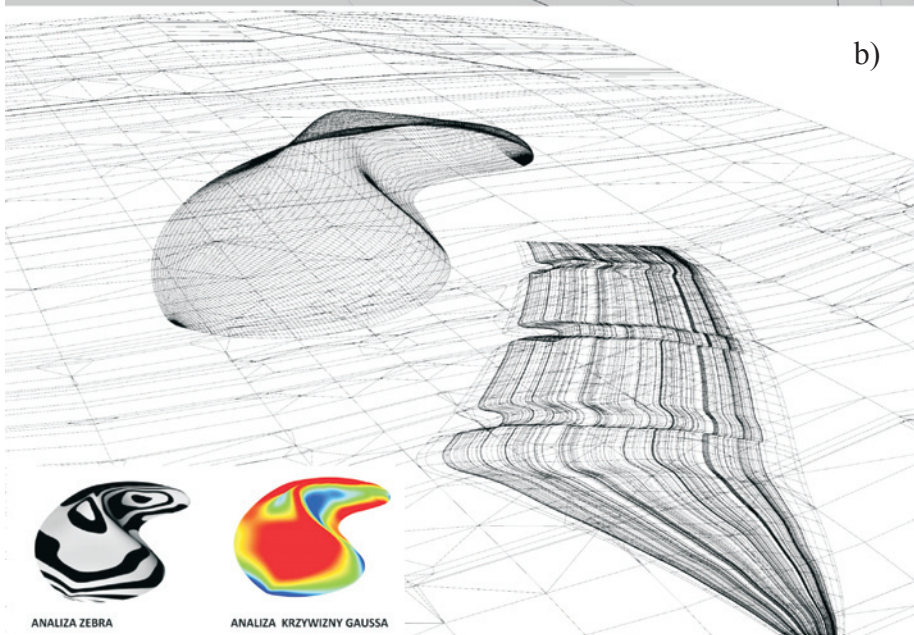
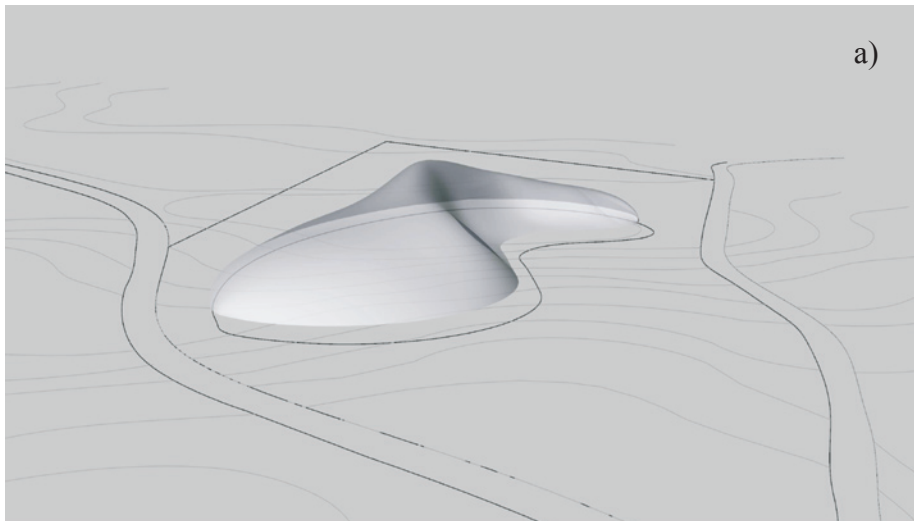
⁴ Patrz: M. Novak, *Transarchitectures and Hypersurfaces*, (w:) Giuseppe di Cristina (red.), *Architecture and Science*, Wiley-Academy Edition, London 1998, s. 153-157.

⁵ Por. M. Burry, *Paramorph*, AD, vol. 69, no. 9-10, 1999, s. 78-83.



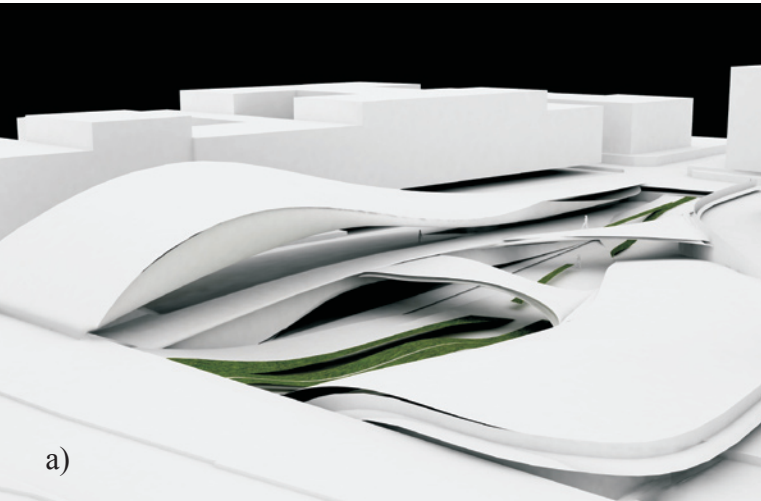
Ryc. 1a-b. Paweł Rubinowicz, powierzchnie zdefiniowane w 9-punktowym modelu parametrycznym. Mimo różnic w kształcie powierzchnie te są równoważne topologicznie. Sieć powiązań między punktami węzłowymi tych powierzchni jest identyczna. Zmiana układu punktów kontrolnych w przestrzeni umożliwia płynne przekształcenie jednej powierzchni w drugą (morfing); źródło: P. Rubinowicz [14]

Fig. 1a-b. Paweł Rubinowicz surfaces defined in the 9-point parametric model. Despite the differences in shape, the surfaces are topologically equivalent. The network of links between the nodes of the surface is identical. Change of control points in space enables the smooth transformation of one surface to another (morphing); source: Paweł Rubinowicz [14]



Ryc.2a-b. Agnieszka Polińska, powierzchnia NURBS ukształtowana przez manipulację punktami kontrolnymi w projekcie centrum rekreacyjnego w krajobrazie naturalnym (analiza powierzchni: Gaussa i Zebra), 2014-2015; źródło: Zakład Architektury Parametrycznej, WBiA ZUT w Szczecinie

Fig. 2a-b. Agnieszka Polińska, NURBS surface formed by manipulation of the control points in the design recreational center in the natural landscape (analysis of surface: Gaussian and Zebra), 2014-2015; source: Division of Parametric Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology in Szczecin

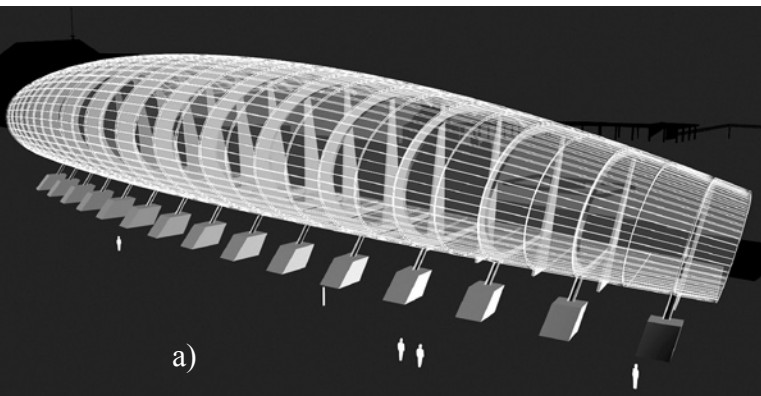


a)

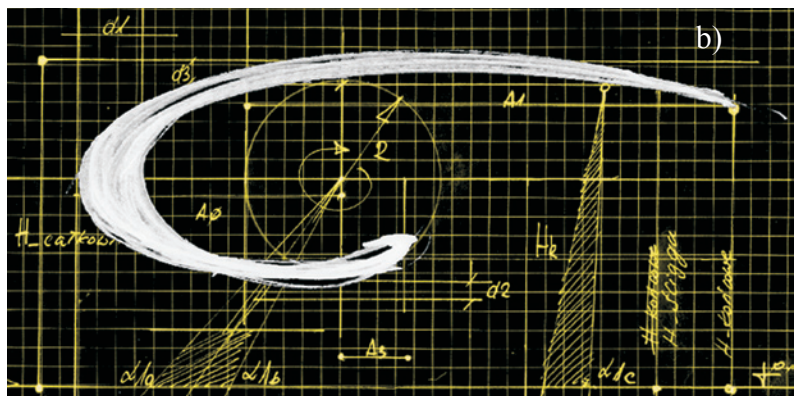


b)

Ryc. 3a-b. Marta Banachowicz, powierzchnie Bézier w projekcie aktywizacji przestrzeni publicznej w mieście, 2015, WBiA ZUT w Szczecinie, źródło: Zakład Architektury Parametrycznej, WBiA ZUT w Szczecinie
Fig. 3a-b. Marta Banachowicz, Bézier surfaces in the project activation of public space in the city, 2015 source: Division of Parametric Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology in Szczecin



a)



b)

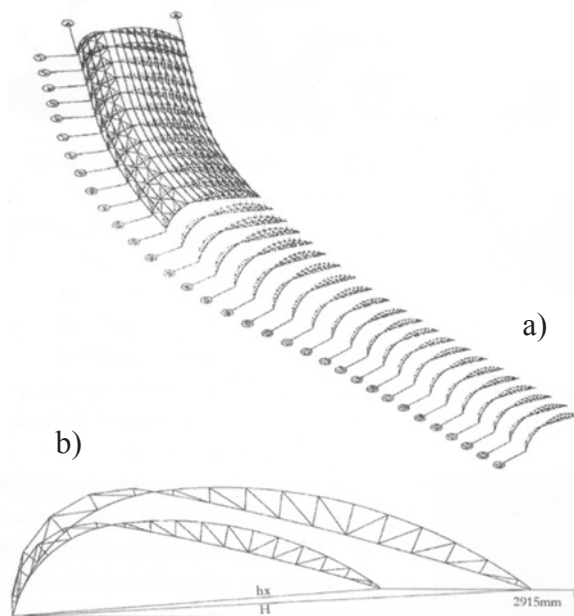
Ryc. 4a-b. Paweł Rubiniowicz, topologiczne przekształcenia modelu obiektu (po lewej), szkic powiązań geometryczno-parametrycznych (po prawej), 1996; źródło: Z. Paszkowski, P. Rubiniowicz [13]
Fig. 4a-b. Paweł Rubiniowicz, topological transformation of the object model (left), sketch relationships geometric and parametric (right), 1996; source: Z. Paszkowski, P. Rubiniowicz [13]



Ryc. 5. Nicholas Grimshaw and Partners, International Rail Terminal Waterloo, Londyn, 1990–1993; źródło: Equilibrium: learning platform for structural design
Fig. 5. Nicholas Grimshaw and Partners, International Rail Terminal Waterloo, London, 1990–1993; source: Equilibrium: learning platform for structural design

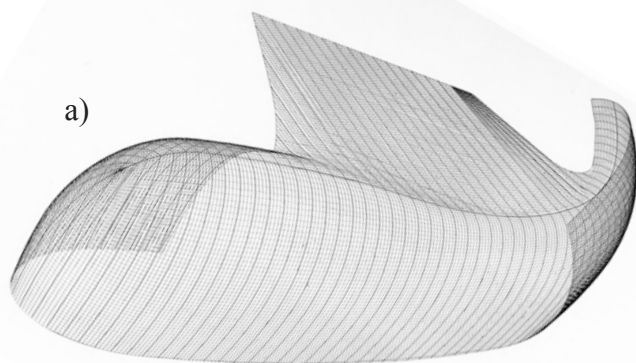
Jeśli parametryczny proces projektowy jest przeprowadzony konsekwentnie, od fazy koncepcyjnej do fabrykacji i montażu, to zmienia się dogłębnie natura projektowania i realizacji. Zmiana roli architekta w procesie projektowania dokonuje także zmian w przyjętej hierarchii w przemyśle budowlanym. Projektowanie parametryczne jest zazwyczaj częścią procesu projektowego danego obiektu architektonicznego i odnosi się do wybranych elementów obiektu, rzadziej do jego całości.

Znakomitym tego przykładem jest fasada domu handlowego *Weltstadthaus* (1999-2005) w Kolonii projektu Renzo Piano. Obiekt ma 130 m długości i 34 m wysokości. Oferuje 22 tys. metrów kwadratowych powierzchni użytkowej, z czego 15 tys. to otwarte miejskie powierzchnie publiczne. Dwukrzywiznowa powierzchnia, płynnie wpisująca się w tkankę miejską, otrzymała strukturę wykonaną z drewna, stali i szkła. Z drewna wykonano 46 żebra nośnych, dźwigających powłokę architektoniczną o powierzchni 4900 m² widoczną od strony Schildergasse. Żebra te składają się z giętych segmentów mocowanych i zestawianych odpowiednio do wymogów pracy strukturalnej całości dwukrzywiznowej formy (ryc. 7a-b).



Ryc. 6a-b. Wymiarowo różne, ale identycznie skonfigurowane łuki przekrycia peronów oraz parametryczne definiowanie czynnika skalującego; źródło: Equilibrium: learning platform for structural design

Fig. 6a-b. Dimensionally different but identically configured arcs of covering platforms and parametric definition of the scaling factor; source: Equilibrium: learning platform for structural design



Ryc. 7 a-b. Renzo Piano, dom handlowy *Weltstadthaus*, Kolonia, 1999-2005; źródło: Renzo Piano Workshop, fot. autorka

Fig.7 a-b. Renzo Piano, Department store *Weltstadthaus*, Cologne, 1999-2005; source: Renzo Piano Workshop, photo by the author



W parametrycznej przestrzeni cyfrowej mogą powstawać formy, które ukazują specyficzny zestaw hierarchicznych zależności pomiędzy ich elementami. Wykorzystują to projektanci, opracowując pełne spektrum rozwiązań, które można analizować, zmieniając wartości parametrów kontrolujących formę. W ten sposób zaprojektowano dwukrzywiznową formę domu towarowego *Weltstadthaus*. W projekcie parametrycznym fasada została zdefiniowana tylko przez dwie krzywe: krzywą horyzontalną obrysu budynku definiującą jego rzut na sytuacji oraz krzywą określającą grzbiet budowli. Mając te dwie krzywe, łatwo już wyznaczyć powierzchnię i jej podziały, które definiuje tylko kilka zasad algorytmicznych. Celem było znalezienie optymalnego i harmonijnego podziału dwukrzywiznowej fasady, dogodnego dla systemu strukturalnego oraz systemu szklanych paneli zewnętrznych. Napisanie skryptu, który opisuje związek między krzywymi oraz opracowanie zasad, zajmuje mniej czasu niż narysowanie trójwymiarowej fasady, posługując się myszką i komputerem. Mając skrypt, można bowiem w ciągu kilku minut generować nowe trójwymiarowe opcje tej fasady przez modyfikacje krzywych lub zasad. Wystarczyło opisać parametrycznie tylko jeden element przyjętego systemu strukturalnego, a program opisał wszystkie elementy, nawet 3 800 szklanych tafli, choć żadna z nich nie jest powtarzalna. Oprócz opisu dwóch krzywych (horyzontalnej i wertykalnej) Walz potrzebował jeszcze wyznaczyć cztery charakterystyczne punkty przy podziale formy na segmenty⁶. Chodziło o wyznaczenie geometrii 46 żeber nośnych oraz geometrii podziału na segmenty osłony ze szkła (co widoczne na modelach parametrycznych) i ich skorelowanie przestrzenne. Segmenty szklanej obudowy tak zoptymalizowano, aby odległości między panelami mogły być absorbowane przez metalowe ramy płaskich tafli szkła. Modele parametryczne wykonane przez Arnalda Walza posłużyły także do optymalizacji tej struktury o złożonej geometrii. Poszczególne elementy strukturalne fasady wykonane zostały przez roboty CNC. Projekt Renzo Piano, jak uważa Walz, jest znakomitym przykładem zastosowania prostych rozwiązań przy pozornie dużej złożoności formy⁷.

Cyfrowe narzędzia parametryczne posłużyły także do opracowania projektu Yas Island Marina Hotel (2007–2009) przy torze wyścigowym Formuła 1 w Abu Dhabi. Hani Rashid i Lise Anne Couture (Asymptote) zaprojektowali dwa eliptyczne bloki po dziesięć kondy-

gnacji i długości 300 m każdy powiązane przewiązką. Wszystkie te elementy okrywa, niczym woalka, strukturalna dwukrzywiznowa powłoka, która optycznie łączy elementy w jedną całość. Wyzwaniem było zaprojektowanie tego okrycia tak, aby nie było ono tylko elementem dekoracyjnym, ale także służyło do modulacji mikroklimatu we wnętrzach hotelu. Strukturalną powłokę stanowi stalowa siatka oraz 5800 romboidalnych obrotowych paneli ze szkła (ryc. 8a-b).

Posłużono się programem Digital Project. Dzięki zawartym tam parametrycznym narzędziom projektowania można było opracować wszystkie elementy projektu. Dziś można by wykonać ten projekt za pomocą narzędzi programu Rhino-Grasshopper i skorzystać z informacji budowlanej (BIM) w bibliotekach innych programów. Program ten daje szerokie możliwości nie tylko geometrycznego kształtowania formy, ale także współpracuje z programami inżynierskimi, co pozwala na wszechstronne opracowanie projektu (ryc. 9).

Projektowanie parametryczne jest metodą projektowania cyfrowego opartą na relacjach i zasadach. Są one zdefiniowane w oprogramowaniu parametrycznym i pozwalają na manipulowanie i szybkie generowanie wielorakich interakcji geometrycznych w projekcie 3D. Modele parametryczne to sieć powiązań geometrycznych, które mogą być przetwarzane w różnych kontekstach przestrzennych. Projektowanie parametryczne często pociąga za sobą procedury algorytmicznej deskrypcji geometrii, zwłaszcza gdy poszukuje się nowych pomysłów odnośnie do formy projektowanego obiektu.

Ponadto, używając parametrycznych programów wspomagających projektowanie, architekci mogą także włączać w proces projektowy podstawowe aspekty budowlane dotyczące materiału, technologii wytwarzania, właściwości strukturalnych oraz środowiska. W ten sposób proces projektowy staje się procesem iteratywnym, generatywnym i reaktywnym.

Po raz pierwszy w historii architekci nie projektują, lecz niejako „generują” obiekty geometryczne poprzez wykorzystywanie określonego zestawu zasad zakodowanych w sekwencjach równań parametrycznych. Narzędzia parametryczne sprawiają, że złożone problemy przekształcane są w racjonalne proste decyzje.

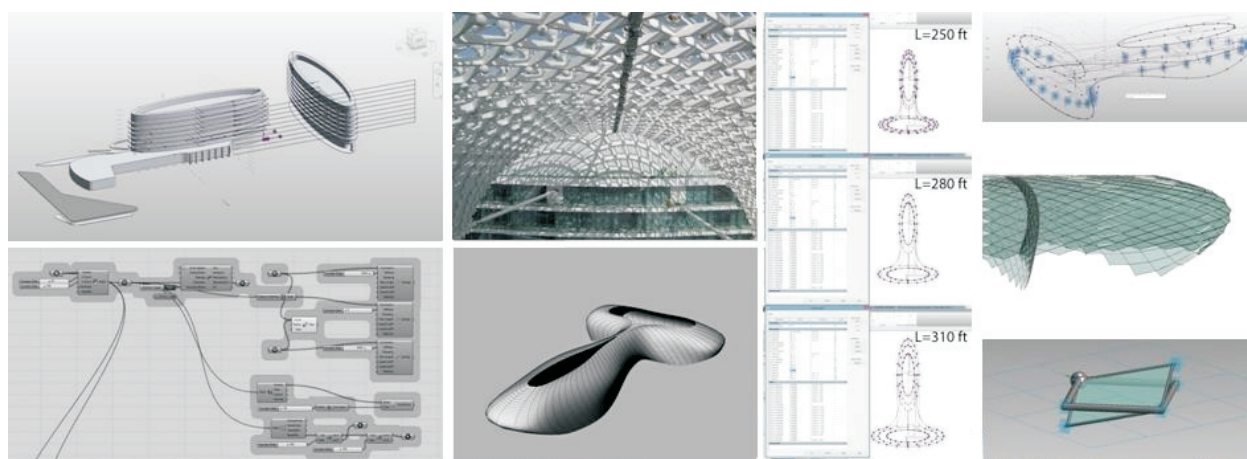
Przez parametryczne narzędzia cyfrowe należy zatem rozumieć proste zestawy poleceń odnośnie do sterowania parametrem grafiki w sekwencjach równań

⁶ Por. S. Schindler, *Programing knowledge - Wissen als Program*, Candide, no.1, 12/2009, s. 58.

⁷ Por. K. Januszkiewicz, *Architektura performatywna w Kolonii*, AV 2/2012, s. 32-45.



Ryc. 8a-b. Asymptote, Yas Island Marina Hotel, Abu Dhabi, 2007–2009; źródło: Asymptote
Fig. 8a-b. Asymptote, Yas Island Marina Hotel, Abu Dhabi, 2007–2009; source: Asymptote



Ryc. 9. Asymptote, Yas Island Marina Hotel, Abu Dhabi, 2007–2009, rekonstrukcja projektu wykonana za pomocą Rhino-Grasshopper z wykorzystaniem BIM z programu Revit (AutoDesk 2014), 2015; źródło: Emad Al-Qattan, Texas A&M University
Fig. 9. Asymptote, Yas Island Marina Hotel, Abu Dhabi, 2007–2009, project reconstruction using parametric tools Rhino-Grasshopper and material modeling by BIM with Revit (AutoDesk 2014); source: Emad Al-Qattan, Texas A&M University

parametrycznych, a nie graficzne deklarowanie i edytowanie kształtu. Projektowanie parametryczne wymaga od projektantów głębszego zrozumienia geometrii, matematyki, informatyki oraz umiejętności obsługi oprogramowania. Dzięki współczesnym narzędziom cyfro-

wym mamy więc do czynienia z zupełnie nową jakością projektowania architektonicznego, o trudnych jeszcze i nie do końca przewidywalnych konsekwencjach.

2. CYFROWE NARZĘDZIA PARAMETRYCZNE

Termin *parametryczny* wywodzi się z matematyki. Parametr to wartość występująca we wzorach i wyrażeniach matematycznych, która w zależności od rozpatrywanego przypadku może być stałą lub zmienną; *nota bene* temperatura jest parametrem, gdyż może być wartością stałą na przykład w przemianie izotermicznej gazu, a w innych przemianach jest zmienna. Parametr to niewiadoma, która łączy funkcję ze zmiennymi, w przypadku gdy relację tę trudno jest wyrazić równaniem. Innymi słowy, jest to litera występująca w formule matematycznej, pełniąca w niej rolę współczynnika liczbowego. W funkcji jeden lub więcej argumentów jest określonych przez należąca do dziedziny funkcji zmienną (x). W geometrii analitycznej zaś figury przedstawia się jako wykresy funkcji. Zmiana wielkości parametru powoduje zmianę graficzną - zmianę przebiegu wykresu funkcji (ryc.10):

równanie dla paraboli

$$y = x^2$$

może zostać sparametryzowane poprzez użycie dowolnego parametru t

$$x = t$$

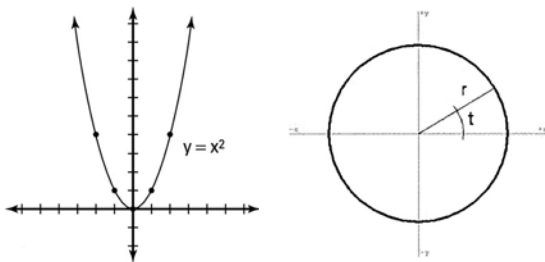
$$y = t^2$$

okrąg o promieniu a sparametryzowany

$$x = a \cos(t)$$

$$y = a \sin(t)$$

gdzie $t \in [0, 2\pi)$



Ryc. 10. Równania parametryczne dla paraboli i okręgu:
źródło: opr. autorka

Fig.10. Parametric equations for a parabola and circle;
source: prepared by the author

Według Słownika Webstera komputer to dające się programować urządzenie elektroniczne, które potrafi gromadzić, wyszukiwać i przetwarzać dane. Potrafi zatem rozwiązywać równania parametryczne. Jednak nie od razu komputer potrafił obrazować graficznie wyniki. W latach sześćdziesiątych XX wieku technologia komputerowa i eksperymentalne narzędzia cyfrowe dla projektantów nie były jeszcze gotowe do dystrybucji masowej.

Przełomu dokonał w 1963 roku Ivan Sutherland. Wykorzystując moc obliczeniową komputera TX-2, stworzył (w ramach pracy doktorskiej) rewolucyjny program nazwany SKETCHPAD: *a Man-machine Graphical Communications System* (szkicownik) pierwszy interaktywny program wspomagający projektowanie. Zmieniło to diametralnie interakcje człowieka z maszyną. Innowacją były ekran (CRT monitor) oraz pióro świetlne. *Nota bene* w 1963 roku komputery pracowały na taśmach magnetycznych lub kartach perforowanych. „Szkicownik” zaś był pierwszym programem z kompletnym interfejsem graficznym użytkownika. Za pomocą koordynatografu punktów względem osi x i y program umożliwiał pokaz linii rysowanych na ekranie. Był to prototyp systemu CAD (*Computer Aided Drafting*) do wspomagania prac kreślarskich. Używając pióra świetlnego, projektant mógł rysować na ekranie monitora linie proste i krzywe, które następnie mogły być ze sobą łączone. Temu służyły równania parametryczne, Sutherland nazwał je *atomic constraints* (ogranicznia cząstkowe). Nie używał terminu „parametryczny”, chociaż jego *atomic constraints* miały wszystkie niezbędne własności równania parametrycznego. Do każdego z ograniczników przypisany był zestaw wyników w postaci funkcji o wielu niezależnych parametrach⁸. W przeciwieństwie do podwieszanych modeli fizycznych Gadiego i Otto równania parametryczne nie są uzależnione od praw fizyki i stąd można obliczać relacje dla linii równoległych, zbieżnych, skośnych i zakrzywionych. SKETCHPAD oferował nowy sposób eksploracji równań parametrycznych. Architekci mogli modyfikować parametry we wzorach matematycznych, a program automatycznie przeliczał i przerysowywał geometrię. Trudno było wówczas przewidzieć, jaki wpływ będzie miał wynalazek Sutherlanda na praktykę projektową w następnych dekadach.

⁸ Por. I. Sutherland, *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*, PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, MIT 1963, s. 18.

⁹ Por. D. Davis (2013), *A History of Parametric*, <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> [dostęp 3.12.2015].

¹⁰ Por. D. Weisberg (2006), *The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering*, <http://www.cadhistory.net.>, r. 6, s. 8 [dostęp 3.12.2015].

¹¹ Por. D. Weisberg *op. cit.*, r. 8, s. 9 [dostęp 3.12.2015].

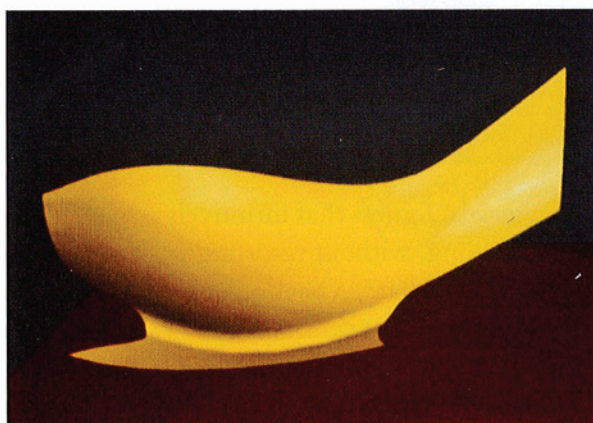
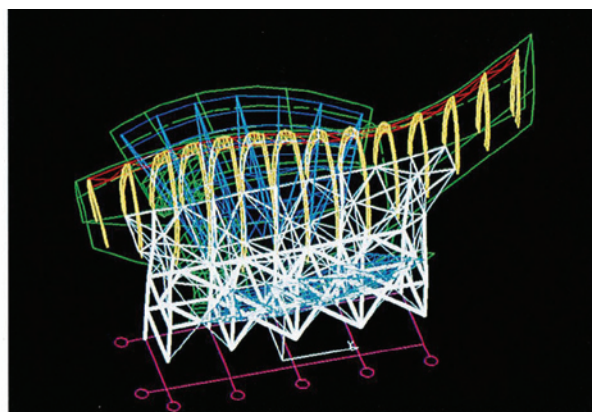
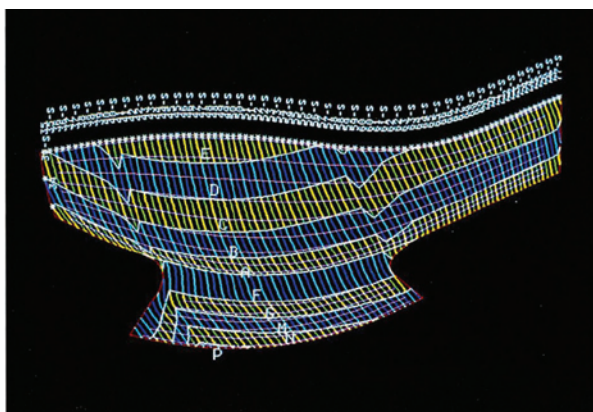
¹² Por. John Teresko, *Parametric Technology Corp.: Changing the way Products are Designed*, *Industry Week*, December 20, 1993, s. 28.

Jednakże w latach sześćdziesiątych projektanci byli bardziej zainteresowani komputerową automatyzacją kreślenia niż sterowaniem parametrem grafiki na ekranie monitora. W centrum uwagi znalazła się geometria samoreplikująca się przez Automaty Komórkowe (*Cellular Automata*) oraz Gramatyki Kształtu (*Shape Grammar*), a także sięgano po krzywe Bézier, niezależnie już opracowane przez Casteljau w roku 1959⁹. W 1962 popularna później elektroniczna maszyna do kreślenia Itek's Electronic Drafting Machine kosztowała 500 tys. USD, na co mógł sobie pozwolić tylko bogaty przemysł lotniczy, okrętowy czy motoryzacyjny¹⁰. W latach siedemdziesiątych maszyny te już sprawnie wyręczały projektantów w sporządzaniu rysunków technicznych (względem osi x i y). Modelowanie 3D, wizualizacja, symulacja były dopiero przedmiotem badań placówek naukowych. Eksperymentalne narzędzia cyfrowe dla projektantów nie były jeszcze gotowe do dystrybucji masowej.

Dwadzieścia lat później, gdy w sierpniu 1982 roku wprowadzony został PC (*Personal Computer*), niemal jednocześnie opracowano pierwszą wersję programu AutoCad, który szybko wyparł samoreplikującą się geometrie. Od tego czasu projektant mógł

już rysować na ekranie dwuwymiarowe obiekty, posługując się klawiaturą i myszką. Jednak dopiero osiemnasta wersja AutoCad 2010 została zaopatrzona w modelujące narzędzia parametryczne (43 lata po napisaniu programu SKETCHPAD), co zostało uznane przez AutoDesk jako „otwarcie nowych możliwości”. Niemniej od początku AutoCad oferował projektantom narzędzia do sporządzania skryptów parametrycznych w pakiecie „scripting interface”¹¹. Wymagało to jednak znajomości podstaw informatyki.

Nowe narzędzia parametryczne do modelowania 3D, które oferował AutoCad 2010, nie były wcale nowe. Opracowane zostały już ponad dwadzieścia lat wcześniej przez matematyka Samuela Geisberga, założyciela Parametric Technology Corporation (1985), dla programu Pro/ENGINEER, który wszedł do sprzedaży w roku 1988. Był on zwiastunem łączenia podstawowych charakterystyk oraz metod modelujących z parametrycznym opisem cech. Podobnie jak w programie *Sketchpad* użytkownicy Pro/ENGINEER mogli łączyć z sobą poszczególne elementy już nie dwuwymiarowe, lecz trójwymiarowe za pomocą równań parametrycznych¹². Oznaczało to przejście projektowania w trzeci wymiar, a syntetyczna przestrzeń stała się rzeczywi-



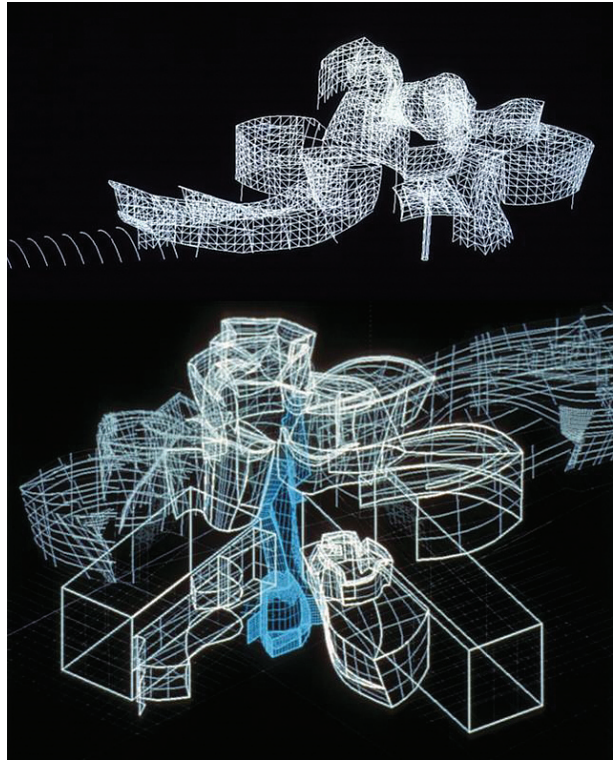
Ryc. 11. Frank Gehry, rzeźba *Ryba*, projekt wykonany za pomocą programu CATIA v3, 1992; źródło: Gehry & Partners
Fig. 11. *The Fish* sculpture, design made using CATIA v3, 1992; source: Gehry & Partners

stością wirtualną i medium projektowym. Dzięki asocjatywności geometrii zmiany dokonywane na jednym z rysunków 3D były automatycznie nanoszone na pozostałe, sporządzane przez wielu użytkowników. Program ten, przez swoją elastyczność, miał zachęcać projektantów do tworzenia bardziej zróżnicowanych obiektów przy zerowych kosztach nanoszenia zmian. Ponadto Geisberg sprawił, że modelowanie parametryczne stało się eksploracją różnorodnych kształtów geometrycznych. Wprowadzono bowiem możliwość manipulacji parametrami oraz manipulacji modelem 3D poprzez zmiany relacji bazowych. Wpływ na rozszerzenie możliwości programu miał miniaturowy napęd (B-rep), który umożliwiał obracanie i przekształcanie obiektów 3D o spójnej geometrii i topologii. Do sprawnego działania sprzętu potrzebowano coraz większych zasobów pamięci operacyjnej i podręcznej oraz skrócenia czasu wykonywania zadań. Okaze się to niezwykle istotne w dalszym rozwoju cyfrowych narzędzi parametrycznych w XXI wieku.

Lata dziewięćdziesiąte to dynamiczny okres rozwoju kultury komputerowej. Wtedy następuje szybki wzrost mocy obliczeniowej komputerów, a co za tym idzie, szybki rozwój grafiki 3D. Teoria mnogości dostarczyła bowiem matematyce języka formalnego dla stworzenia precyzyjnych podstaw topologii, czyniąc z topologii istotę syntetycznych przestrzeni w grafice komputerowej. Wykorzystała to firma Dassault Systèmes zajmująca się oprogramowaniem wspomagającym projektowanie i w 1993 wprowadziła do nowej wersji programu CATIAv4 wiele elementów języka parametrycznego współpracujących z programem Pro/ENGINEER¹³.

W tym czasie biuro projektowe Gehry Partners zatrudniło już Ricka Smitha z lotniczego biura konstrukcyjnego, eksperta od programu CATIA. Pokonywał on wtedy wyzwania geometryczne związane z projektem i realizacją ikonicznego obiektu *Ryba* w Barcelonie (1992), a następnie Guggenheim Muzeum w Bilbao (1993-1997) (ryc. 11, 12).

Taka forma współpracy dała podstawy do założenia w 2001 roku siostrzanego przedsiębiorstwa o nazwie Gehry Technology, któremu udało się opracować parametryczne oprogramowanie modelujące Digital Project, udostępnione w roku 2004. Digital Project wykorzystuje narzędzia zawarte w CATIAv5 i wprowadza nowe, przydatne architektom do racjonalizacji skomplikowanej geometrii formy, jak w projektach Franka Gehry'ego. Program ten opiera się na parametrycz-



Ryc. 12. Modele geometryczne w programie CATIAv4 do projektu Guggenheim Muzeum, w Bilbao, 1993-1997; Gehry & Partners
Fig. 12. Geometrical models in the CATIAv4 to project Guggenheim Museum in Bilbao, 1993-1997; source: Gehry & Partners

nym silniku pochodzącym z programu CATIAv5, który umożliwia architektom rewidować parametry i równania definiujące projektowaną geometrię w ten sam sposób jak użytkownikom programu Pro/ENGINEER.

Program Digital Project, podobnie jak CATIA, jest programem wszechstronnym, pozwalającym na wymianę danych z innymi programami w branży, aby przygotować pełną dokumentację 3D projektu architektonicznego - od koncepcji po pliki dla wytwórcy (*file to factory*), a także określić koszty i czas. Integracja z systemem CAM pozwala także na szybkie wykonywanie modeli 3D na każdym etapie projektu. Program Digital Project wymagał jednak odpowiedniego sprzętu i nie występował w wersji przeznaczonej dla komputerów osobistych PC. Niemniej od 2004 roku zapotrzebowanie na ten rodzaj oprogramowania wciąż wzrasta, gdyż coraz więcej firm architektonicznych jest zainteresowanych projektowaniem obiektów o krzywoliniowej złożonej geometrii. Dziś jest chętniej używany niż Revit (RTC 2000a), który miał być „pierwszym parametrycznym modelerem budowlanym dla architektów oraz profesjo-

¹³ Por. D. Weisberg, *op. cit.*, r. 13, s. 32 [dostęp 3.12.2015].

¹⁴ Patrz: RTC (*Revit Technology Corporation*), (2000b). "Revit Technology Corporation - Product"; <http://revit.com/cornerstone/index.html>. Copy archived May 10, 2000; <http://web.archive.org/web/20000510111053/http://revit.com/cornerstone/index.html>.

nalnych budowniczych”, jak można było przeczytać na Revit homepage z dnia 10 maja 2000 roku¹⁴.

Autorzy programu Revit definiują termin *parametric* (parametryczny) jako obiekt oparty na równaniach parametrycznych, który projektant może tylko adjustować w zależności od okoliczności jego zastosowania w projekcie. W kolejnej wersji (RTC 2001) wyjaśniano na stronie internetowej, jak projektant może adjustować wysokość dachu i jak Revit dokona natychmiast rewizji wymiarów na rzutach, elewacjach, przekrojach etc. Revit i jemu podobne programy posługują się równaniami parametrycznym tylko po to, aby dokonała się automatyczna rewizja wymiarów, co eufemistycznie AutoDesk nazwał modelowaniem. Jednakże jest to nadużycie, nieuprawnione określenie, projektant bowiem nie steruje parametrem grafiki w równaniach parametrycznych, tak jak pracując z programami takimi, jak Pro/ENGINEER, CATIA czy nawet SKETCHPAD. Relacje parametryczne programu Revit ukryte są za interfejsem, niedostępne bezpośrednio dla użytkownika. Nie można zatem tworzyć własnych modeli ani swobodnie nimi manipulować, czy też przekształcać je przez wprowadzanie parametrów pożądaných przez projektanta. W kolejnych już wersjach AutoDesk wycofał się z poprzedniej retoryki, wprowadzając nowy termin „Modelowanie Informacji Budowlanej” (BIM), co bardziej odpowiada możliwościom i zawartości programu Revit czyli zarządzaniem informacją (parametrami) dotyczącą materiałów i technik budowlanych, a nie zarządzania modelem parametrycznym jako takim. Duże firmy architektoniczne najczęściej wybierają takie programy, jak: Digital Project i CATIA czy Pro/ENGINEER, gdzie wyspecjalizowane grupy projektantów pracują tylko nad rozwiązaniami geometrycznymi projektowanych obiektów.

Modelowanie parametryczne wykonuje się sprawnie przy użyciu interfejsów skryptowych, często załączanych do niektórych pakietów oprogramowania. Skryptowanie to sposób „mówienia” komputerowi, co ma zrobić. Jednakże komputer zrozumie przekaz tylko wtedy, gdy się mu to „powie” w języku zrozumiałym dla tego urządzenia (ryc. 13).

Twórcy AutoCad-a, opracowując już jego pierwszą wersję w roku 1982, byli świadomi, że załączenie interfejsu skryptowego pozwoli im uniknąć zapytań odnośnie do specyficznego kodowania i aplikacji wynikających z indywidualnych potrzeb użytkowników¹⁵. Dziesięć lat później, w 1992 roku, kiedy Mark Burry



Ryc. 13. Paweł Rubinowicz, modelowanie form parametrycznych z zastosowaniem autorskiego programu MODEL, 1999; źródło: P. Rubinowicz [14]

Fig.13. Paweł Rubinowicz, parametric modeling forms by using proprietary program MODEL 1999; source: P. Rubinowicz [14]

chciał parametrycznie wymodelować liczne hiperbole dla Sagrada Familia, nie prosił AutoDesk-u o włączenie funkcji hiperbola w AutoCad, tylko skorzystał z interfejsu AutoCad scripting, by sporządzić własne krzywe parametryczne¹⁶.

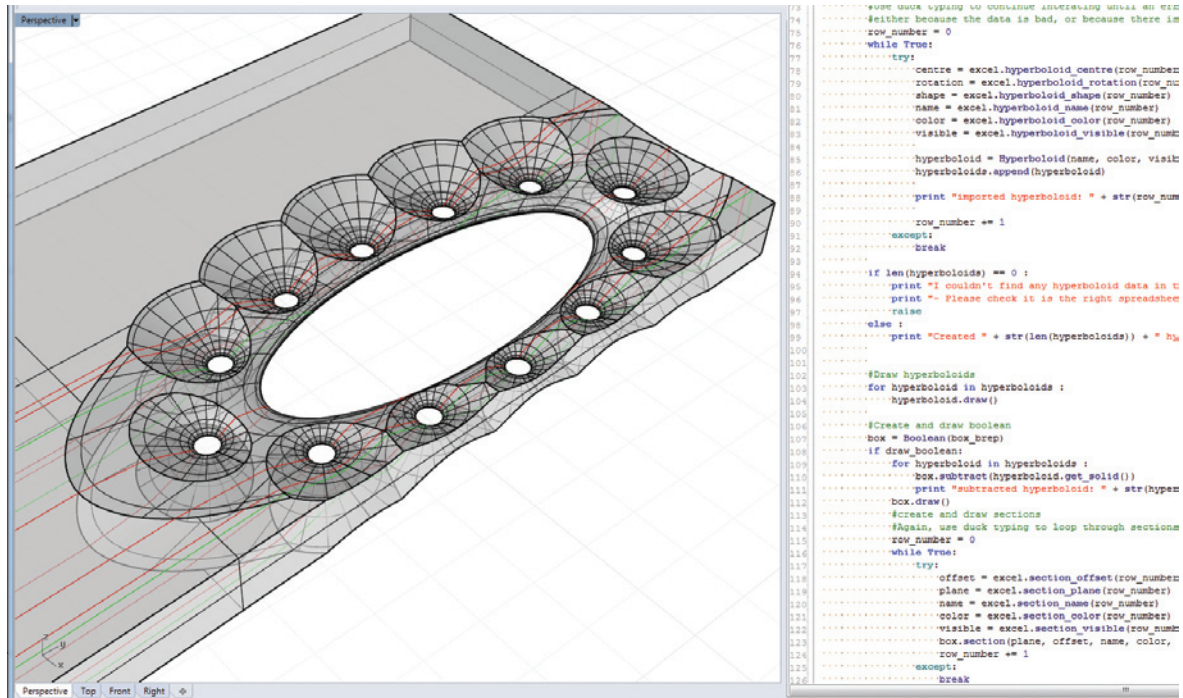
Skrypt Burrego miał trzy parametry wejściowe, określające punkty: początkowy, minimalny oraz punkt asymptoty, i napisany został w kodzie AutoLISP17. Systemy parametryczne są z zasady oparte na procedurach algorytmicznych, gdyż to algorytm określa kolejność transformacji danych wejściowych, dążąc do uzyskania danych końcowych na wyjściu. Mark Burry, kontynuując od 1979 roku budowę Sagrada Familia sporządza modele parametryczne poszczególnych elementów i struktur przestrzennych zgodnie z zamysłem Gaudiego. Dzięki krzywom parametrycznym wykonawstwo elementów o złożonej geometrii jest możliwe ze względu na przełożenie na numeryczne urządzenia CNC (ryc. 14).

Tekstowe interfejsy skryptowe nie rozwinęły się znacząco od czasu opracowania pierwszej wersji AutoCad-a. Jakkolwiek w ostatnich dwóch dekadach odnotowano pojawienie się nowego interfejsu skryptowego: interfejsu wizualnego. Programowanie wizualne obejmuje reprezentatywne programy pokazane nie jako tekst, lecz jako diagramy. W 1990 roku powstały dwa takie interfejsy, MAX/MSP, z których jeden jest popularny wśród muzyków, a drugi wśród plastyków

¹⁵ Por. J. Walker (red.), *The Autodesk File: Bits of History, Words of Experience*, New Riders Publishing 1994, s. 115.

¹⁶ Por. D. Davis (2013), *A History of Parametric*,..... op. cit.

¹⁷ Patrz: M. Burry, *Scripting Cultures*, Chichester: Wiley, London 2011, także: *ibidem*.



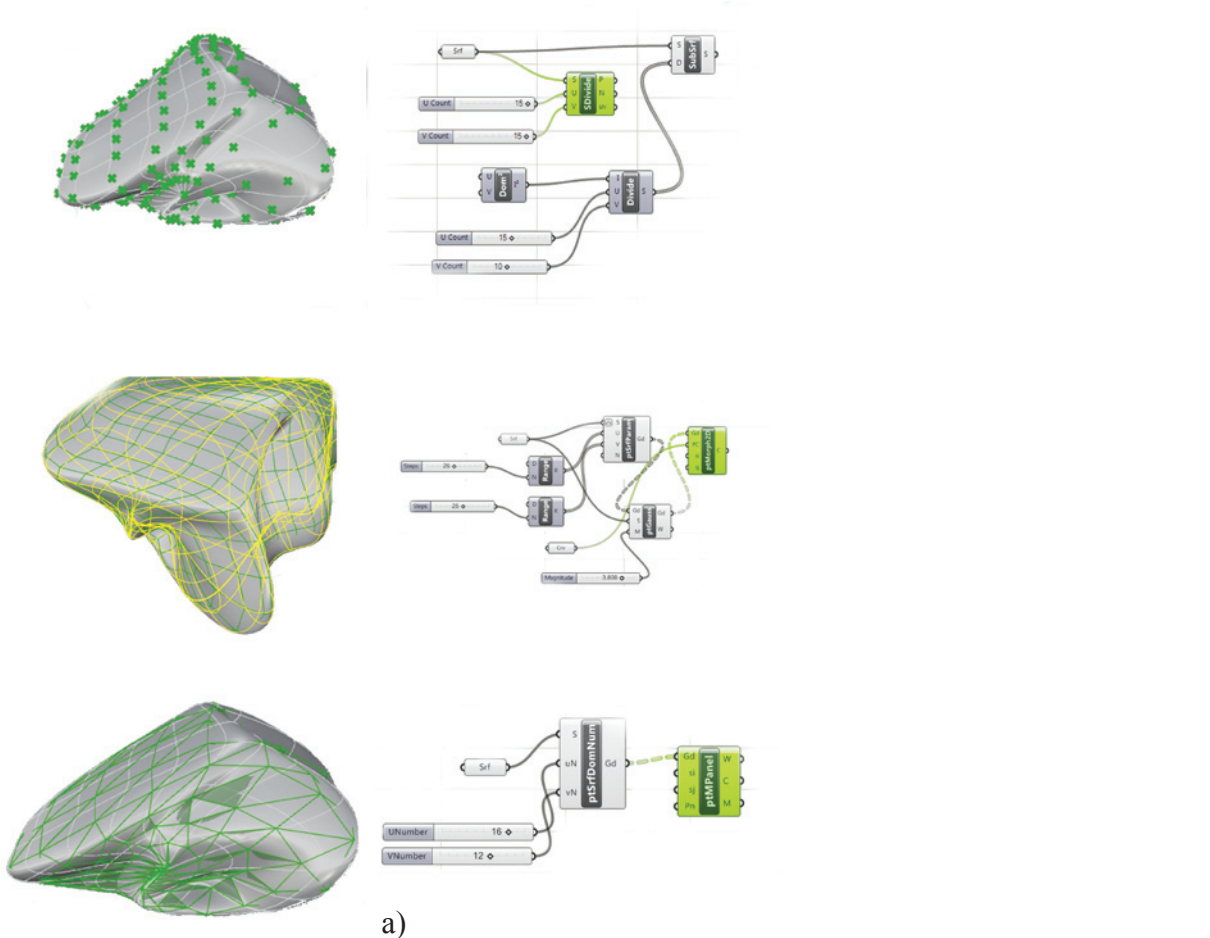
Ryc. 14. Mark Burry, skrypt parametryczny do pozycjonowania hiperboli oraz ich lokowania na danym substracie napisane w języku programowania Python, 2005; źródło: M. Bury [3]

Fig.14. Mark Burry, Parametric script for positioning hyperboles and their placement on a given substrate written in the programming language Python, 2005; source: M. Bury [3]

ze względu na możliwości programowania efektów artystycznych. Architekci otrzymali swój pierwszy wizualny język skryptowy w roku 2003, kiedy Robert Aish, pracując dla Bentley Systems, ukradkiem testował nową wersję Generative Components w kilku firmach architektonicznych. Gdy Robert McNeel & Associates bezskutecznie próbował uzyskać licencję na Generative Components wówczas David Rutten opracował własną wersję wizualnego języka skryptowego. Aplikację tę pod nazwą Explicit History wydano w roku 2007, a Rutten następnie rozwinął ją i nazwał Grasshopper. Zarówno Generative Components, jak i Grasshopper oparte są na grafach (w matematyce dyskretny graf to para) i dają możliwość odnajdywania odpowiedniej ścieżki połączeń między elementami w postaci blokowego schematu przepływu (Ryc.15).

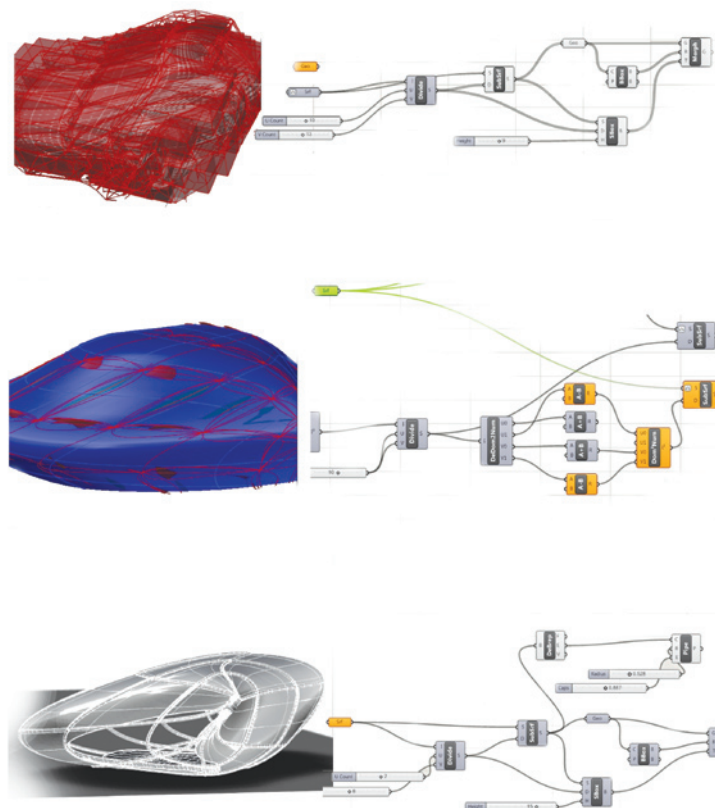
W ostatniej dekadzie modelowanie parametryczne przestało być postrzegane jako matematyczny trik Gaudiego, Otto, Sutherlanda i niektórych inżynierów, a stało się stałym elementem praktyki architektury. Programowanie zadań komputera przez skryptowanie jest dziś integralną częścią cyfrowego procesu projektowego. Zapewnia wyjątkowe możliwości w zakresie innowacji, umożliwiając projektantom dostosowanie oprogramowania do własnych upodobań i sposobów pracy.

Podczas gdy w matematyce termin *parametryczny* oznacza zbiór ilościowy wyrażony w postaci funkcji o niezależnych parametrach, to w architekturze jest to odkrywanie i badanie coraz to nowych możliwości oferowanych przez model. Taka eksploracja jest dziś ułatwiona, gdyż możliwe jest już zarówno modyfikowanie modelu parametrycznego, jak i modyfikacja relacji geometrycznych modelu. Ponadto dobrze przemyślany model parametryczny uwalnia projektanta poprzez automatyzację z wielu rutynowych i powtarzalnych czynności w trakcie procesu projektowania. Oszczędzony czas można zatem poświęcać na myślenie projektowe. Modelowanie parametryczne przestało być już ekskluzywną domeną projektowania architektonicznego, gdyż narzędzia parametryczne są dostępne w programach takich jak: Rhino-Grasshopper, CATIA and Pro/ENGINEER oraz w aplikacjach BIM, które wyposażone są w tekstowe języki skryptowania oraz oparte na grafach interfejsy wizualne. Aktualnie modele parametryczne są obecne w projektowaniu architektonicznym i wykorzystywane do osiągnięcia różnych celów. Szybka ekspansja aplikacji do modelowania parametrycznego doprowadziła do pewnego zamieszania w rozumieniu tego terminu, wychodząc poza jego pierwotne znaczenie.



Ryc. 15. Dorota Godlewska, Kształtowanie form swobodnych w wyniku łączenia komponentów (bloków) w programie Rhino-Grasshopper, 2014, Pracownia parametryczna WA PP, źródło: Dorota Godlewska

Fig. 15. Dorota Godlewska. Shaping free-forms by connecting components (Blocks) by using Rhino-Grasshopper software, 2014, Parametric Lab, Department of Architecture, Poznan University of Technology, source: Dorota Godlewska



3. CZYM JEST ARCHITEKTURA PARAMETRYCZNA?

W ostatniej dekadzie termin *architektura parametryczna* występuje zarówno w języku potocznym, jak i w profesjonalnym dyskursie o architekturze i jej projektowaniu. Znaczenie tego terminu wydaje się szeroko pojmowane i odnoszone do budowli, których wygląd sugeruje, że projektowane były w syntetycznych przestrzeniach informatycznych, bez względu na ich specyfikę. Uważa się nawet, że *parametrycyzm* jest nowym globalnym stylem w architekturze i urbanistyce¹⁸.

Termin *parametryczny* pochodzi z języka angielskiego (ang. *parametric*) i oznacza sterowanie parametrem grafiki, co należy rozumieć jako sterowanie rozmiarem i kształtem przez parametr liczbowy.

Jednakże w historii architektury termin *architektura parametryczna* nie jest określeniem nowym. Posługiwano się nim, zanim rozpowszechniły się cyfrowe narzędzia projektowania, takie jak Generative Components, Processing, Rhino-Grasshopper, a także zanim matematyk Samuel Geisberg założył Parametric Technology Corporation w 1985 roku.

Po raz pierwszy termin ten został użyty, w odniesieniu do architektury, w latach czterdziestych w tekstach włoskiego architekta Luigi Morettiego (1906-1973), czego dowodzą Robert Stiles oraz Federico Bucci i Marco Mulazzani, badacze jego twórczości¹⁹. Moretti wielokrotnie pisał o „architekturze parametrycznej”, którą rozumiał jako badanie systemów architektonicznych ze względu na cel, jakim jest forma, która może być osiągnięta przez „określenie relacji pomiędzy wymiarami uzależnionymi od różnych parametrów”²⁰. Jako przykład Moretti zaprojektował stadion sportowy, który wyjaśnia, jak forma takiego obiektu może być wyprowadzona przez uwzględnienie dziewiętnastu parametrów, dotyczących między innymi krzywej i kąta widoczności oraz ekonomiki kosztów konstrukcji żelbetowej²¹. Kilka wersji projektu parametrycznego stadionu Morettiego było prezentowanych na jego wystawie pt. *Parametric Architecture* na XII Triennale w Mediolanie w 1960 roku²² (Ryc. 16).

W tym samym roku Moretti otrzymał zlecenie na projekt wielofunkcyjnego kompleksu zabudo-

wy Watergate Complex (1962-1971) w Waszyngtonie. Kierując zespołem projektantów biura Milton Fischer, Moretti skoncentrował się przede wszystkim na rozwinięciu własnej metody tworzenia formy architektonicznej w relacji do parametrów, które mogą mieć wpływ na jej rozmiar i kształt. Po raz pierwszy wówczas użyto komputerów do gromadzenia i przetwarzania danych w celu otrzymania wyników graficznych²³. Watergate Complex, znany nie tylko ze skandalu podsłuchowego, stanowi istotne odniesienie dla współczesnych technik tworzenia modeli parametrycznych wzorowanych na pionierskim pomysle Morettiego (Ryc. 17, 18).

W końcu lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku określenie *parametryczny* w odniesieniu do architektury znacznie zyskało na popularności. Potwierdza to Daniel Davis i przyznaje, że chociaż termin ten występował wcześniej, zanim Samuel Geisberg wprowadził na rynek w roku 1988 pierwsze komercyjne oprogramowanie do modelowania parametrycznego, to dopiero po tym fakcie modelowanie parametryczne znalazło się w centrum zainteresowania instytucji naukowych i biur projektowych. Jak podaje Davis, termin *parametryczny* wystąpił już kilka razy w różnych artykułach w czasopiśmie „Advances in Computer Graphics III” (1988) i odnoszony był do projektowania w parametrycznym środowisku cyfrowym²⁴.

Każdy projekt wirtualny jest definiowany przez środowisko cyfrowe, w jakim powstał, przez bazę danych, która odpowiada cyfrowej przestrzeni projektowej danego programu wspomagającego projektowanie. Obiekt architektoniczny powinien być zatem rozpatrywany wraz z cyfrowym środowiskiem, w którym powstał. Każde bowiem środowisko cyfrowe posiada swoją charakterystykę pozwalającą na obrazowanie określonych zestawów poleceń, graficzne przedstawienie wyników pracy obliczeniowej procesora.

Dlatego też przez *architekturę parametryczną* należałoby rozumieć dzieła sztuki architektury zaprojektowane w wielowymiarowej przestrzeni parametrycznej. Wtedy forma tej architektury to wynik sterowania parametrem grafiki w sekwencjach równań parametrycznych (Ryc. 19, 20), a nie graficzne deklarowanie i edytowanie kształtu, co oferuje na przykład ArchiCAD.

¹⁸ Por. P. Schumacher, *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*, AD „Architectural Design - Digital Cities”, vol. 79, no. 4, July/August 2009, s. 14–23.

¹⁹ Por. R. Stiles, *Aggregation Strategies*, Masters dissertation, University of Bath, 2006, także: Federico Bucci, Marco Mulazzani, *Luigi Moretti: Works and Writings*. New York: Princeton Architectural Press 2000, s. 21 oraz Daniel Davis (2013), *A History of...*, op. cit.

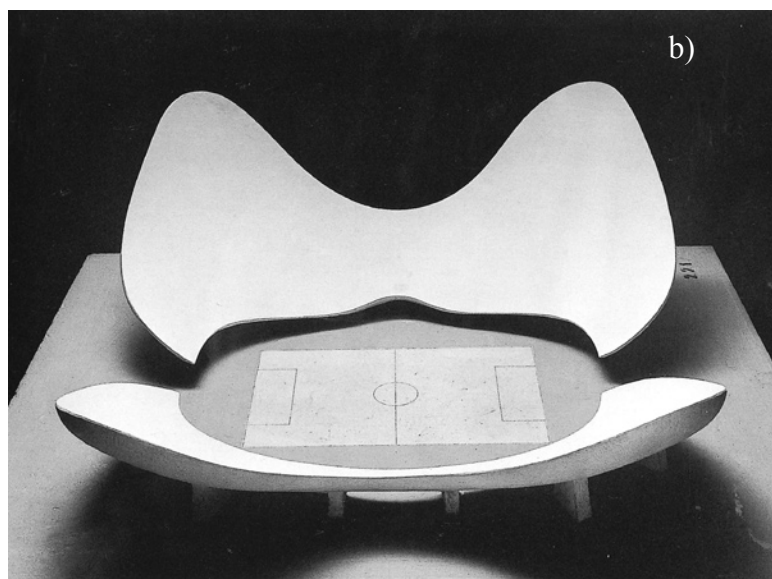
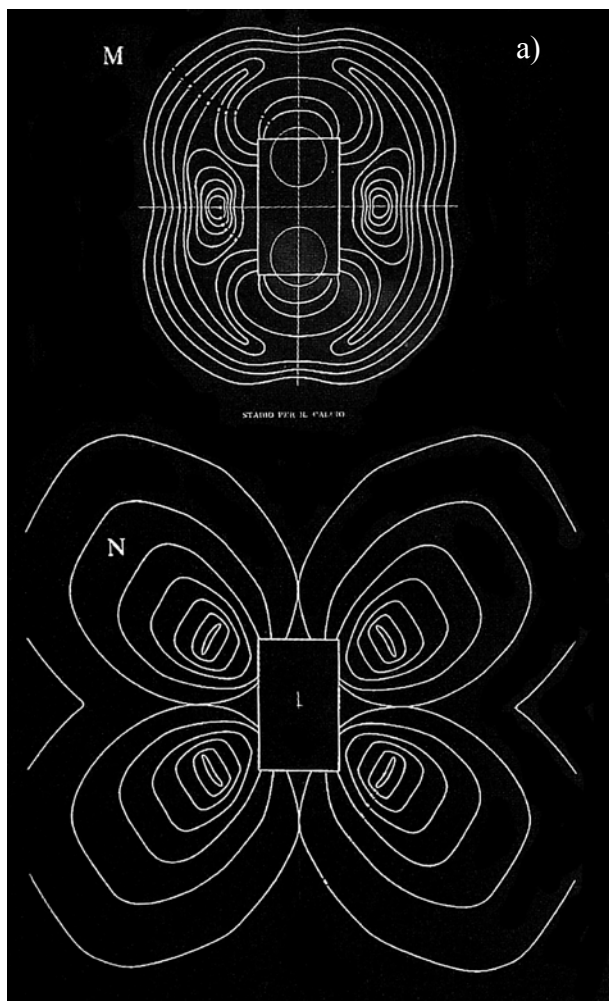
²⁰ L. Moretti, *Ricerca Matematica in Architettura e Urbanistica*, „Moebius IV” no. 1, 1971, s. 30-53, patrz także: D. Davis (2013), *A History of Parametric*, <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> [dostęp 3.12.2015].

²¹ Por. L. Moretti, *Ricerca...*, op. cit., s. 207.

²² Por. F. Bucci, M. Mulazzani, *Luigi Moretti...*, op. cit., s. 114.

²³ Por. M. Livingston, *Watergate: The name that branded more than a building*, „Washington Business Journal”, 17 June 2002.

²⁴ Por. Daniel Davis (2013), *A History of...*, op. cit.



Ryc. 16 a-b. Luigi Moretti, projekt stadionu sportowego, XII Triennale Sztuki, Mediolan 1960, źródło: D. Davis [4]

Fig. 16 a-b. Luigi Moretti, sport stadium design, XII Triennial of Arts, Milan 1960, source: D. Davis [4]

PODSUMOWANIE

W XXI wieku płynne linie i pofałdowane powierzchnie to język technologii cyfrowych, modelerów krzywych i powierzchni swobodnych, opartych na zapisie parametrycznym Non Uniform Rational B-Spline (NURBS), to wynik modelowania parametrycznego, które ułatwia dziś wizualny język skryptowy dostępny w aplikacjach programów, takich jak: Pro/ENGINEER, Digital Project, CATIA czy Rhinoceros-Grasshopper. Parametryzacja to obecnie jeden z ważnych aspektów wydajnego projektowania 2D i 3D. Cyfrowe narzędzia parametryczne oferowane przez oprogramowania, takie jak: Catia, Digital Project, AutoDesk 3DsMax, Rhino-Grasshopper, Generative Components i Processing, są coraz bardziej popularne zarówno w projektowaniu architektonicznym, jak i we wzornictwie. Parametryzacja jest dobitnym wyrazem przejścia współczesnego społeczeństwa światowego z epoki fordyzmu (*mass production*) do ery post-fordyzmu (*mass customization*), która ewoluuje w kierunku coraz bardziej płynnych i złożonych globalnych sieci systemów komunikacji społecznych.

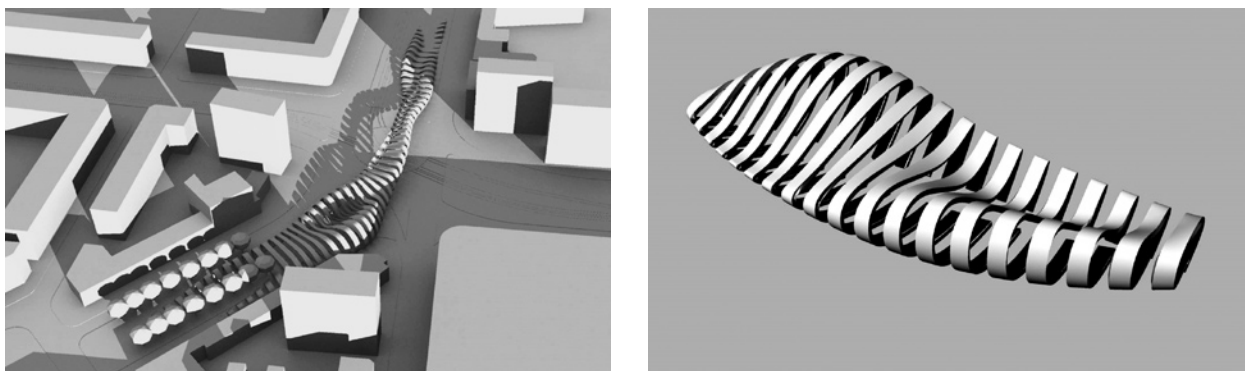


Ryc.17 a-b. Luigi Moretti/Milton Fischer, Watergate Complex, Waszyngton, USA, 1962-1971, źródło: D. Davis [4]

Fig. 17 a-b. Luigi Moretti/Milton Fischer, Watergate Complex, Washington DC, USA, 1962-1971, source: D. Davis [4]

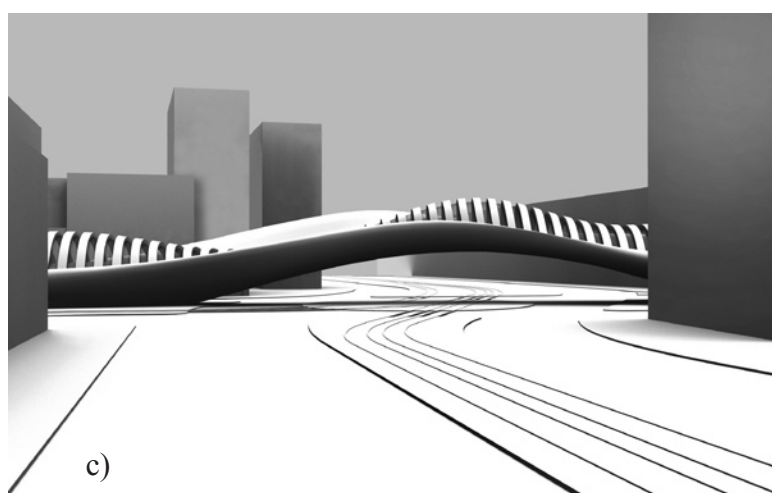
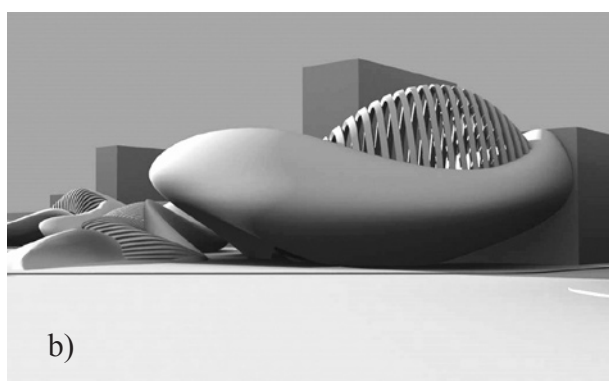
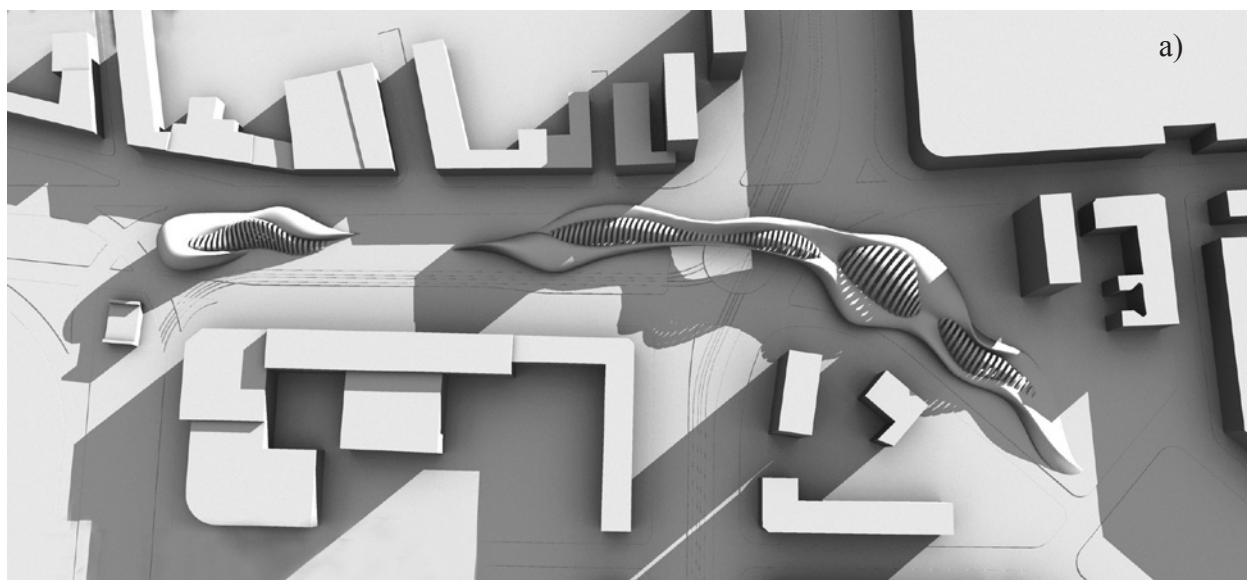


Ryc. 18a-b. Zaha Hadid, Patrik Schumacher, Galaxy SOHO, Pekin, Chiny, 2008-2012, źródło: Zaha Hadid Architects
Fig.18a-b. Zaha Hadid, Patrik Schumacher, Galaxy SOHO, Beijing, China, 2008-2012, source: Zaha Hadid Architects



Ryc. 19 a-b. Julia Skumiął, Ilya Tsimanouski, tymczasowa struktura przestrzenna w tkance miejskiej - studium I, 2015, źródło: Zakład Architektury Parametrycznej, WBiA ZUT w Szczecinie

Fig. 19 a-b. Julia Skumiął, Ilya Tsimanouski, Temporary spatial structure in the urban tissue - study I, 2015, source: Division of Parametric Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology in Szczecin



Ryc. 20 a-b-c. Julia Skumiął, Ilya Tsimanouski, tymczasowa struktura przestrzenna w tkance miejskiej - studium II, 2015, źródło: Zakład Architektury Parametrycznej, WBiA ZUT w Szczecinie

Fig. 20 a-b-c-d. Julia Skumiął, Ilya Tsimanouski, Temporary spatial structure in the urban tissue - study II, source: Division of Parametric Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, West Pomeranian University of Technology in Szczecin

Przedstawione projekty autorów: Moniki Boneckiej, Marty Banachowicz, Julii Skumiał, Ilyi Tsimanouskiego to prace semestralne (rok ak. 2014/2015) wykonane pod kierunkiem dr. hab. inż. arch. Krystyny Januszkiewicz, prof. nzw. ZUT na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (WBiA ZUT). Projekt Doroty Godlewskiej z zakresu kształtowania form swobodnych wykonany został w Pracowni Parametrycznej WA Politechniki Poznańskiej, kierowanej przez Krystynę Januszkiewicz w latach 2013-2014.

LITERATURA

1. **Bucci F., Mulazzani M. (2000)**, *Luigi Moretti: Works and Writings*, New York: Princeton Architectural Press.
2. **Burry M. (1999)**, *Paramorph*, "AD", vol. 69, no. 9-10.
3. **Burry M. (2011)**, *Scripting Cultures*. Chichester: Wiley, London.
4. **Davis D. (2013)**, *A History of Parametric*, <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> [dostęp 3.12.2015].
5. **Wassim J. (2013)**, *Parametric Design for Architecture*. Laurence King, London.
6. **Januszkiewicz K. (2010)**, *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
7. **Januszkiewicz K. (2016)**, *Architektura parametryczna – projektowanie architektoniczne w XXI wieku*, „Architektura Murator” no. 4.
8. **Januszkiewicz K. (2012)**, *Architektura performatywna w Kolonii*, „Archivolta” nr 2.
9. **Livingston M. (2002)**, *Watergate: The name that branded more than a building*, Washington Business Journal, 17 June.
10. **Menges A. (2006)**, *Instrumental Geometry*, "AD" vol.76, no.2.
11. **Moretti L. (1971)**, *Ricerca Matematica in Architettura e Urbanisticâ*, "Moebius IV" no. 1.
12. **Novak M. (1998)**, *Transarchitectures and Hypersurfaces*, w: (red.) Giuseppe di Cristina, *Architecture and Science*, Wiley-Academy Edition, London.
13. **Paszkowski Z., Rubinowicz P. (1996)**, *Toward the parametric Modelling in architecture*, Proceedings of the 7th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry, Kraków.
14. **Rubinowicz P. (1999)**, *Parametryczne modelowanie wybranych powierzchni w programie OBIEKT 1.41*, Materiały Seminarium Geometrii i Grafiki Inżynierskiej, Wiśła, z. 8.
15. **Schindler S. (2009)**, *Programing knowledge - Wissen als Program*, "Candide", no.1.
16. **Schumacher P. (2009)**, *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*, "AD-Digital Cities", vol. 79, no 4.
17. **Stiles R. (2006)**, *Aggregation Strategies*, Masters dissertation, University of Bath.
18. **Sutherland I. (1963)**, *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*, PhD dissertation, MIT, Boston.
19. **Teresko J. (1993)**, *Parametric Technology Corp.: Changing the way Products are Designed*, Industry Week, December 20.
20. **Walker J. (red.) (1994)**, *The Autodesk File: Bits of History, Words of Experience*, New Riders Publishing.
21. **Weisberg D. (2006)**, *The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering*, <http://www.cadhistory.net>. [dostęp 3.12.2015].
22. **Woodbury R. (2010)**, *Elements of Parametric Design*, Routledge.