

## O przestrzeni cyfrowej i nie tylko On digital space, and more

Krystyna Januszkiewicz  
WA Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe; architektura, przestrzeń cyfrowa, topologia, B-spine, NURBS  
**Keywords:** architecture, digital space topology, B-spline, NURBS

### Streszczenie

Przeźren jest zagadnieniem podstawowym, tak dla metodyki projektowania, jak i przyjętych w projektowaniu strategii. Media cyfrowe oferując projektantowi syntetyczne środowiska pracy twórczej zaoferowały nowe medium artykulacji przestrzeni projektowej. Przedstawiane są niektóre aspekty dotyczące przestrzeni fizycznej przestrzeni wirtualnej, po to aby wyjaśnić czym jest struktura przestrzeni i co czyni ją rozpoznawalną. Objaśnia się także w jaki sposób topologia opisuje strukturę przestrzeni zwracając uwagę na transformacje topologiczne i ich potencjał w projektowaniu architektury. Rozpatrywana jest także cyfrowa przestrzeń projektowa i dynamika ruchu - od najprostszych przekształceń, wykonywanych przez projektanta, do złożonych animacji. Od przestrzeni krzywych  $\kappa$ -tau i jej struktury wektorowej przechodzi się do parametryczności przestrzeni. Przeźren ta jest istotna gdyż może tam powstać nieskończona ilość, podobnych do siebie, obiektów geometrycznych, manifestacji przygotowanych wcześniej schematów zmiennie wymiarowych, czy schematów relacji i działań wzajemnie od siebie współzależnych. Następnie uwaga koncentrowana jest na krzywych i powierzchniach NURBS, które są szczególnie atrakcyjne dla projektantów ze względu na łatwe operowanie kształtem przez interaktywne manipulacje punktami kontrolnymi. Na zakończenie wymienia się koncepcje formowania w przestrzeniach cyfrowych oparte na podstawowych założeniach informatycznych.

### Abstract

Space is a fundamental issue, both for the design methodology and the strategies adopted in the design. Digital Media, which offered synthetic creative work environments to the designer, offered a new medium of space design articulation. Some aspects on cyber-physical space are presented in order to explain what the structure of space is and what makes it recognizable. It is also explained in what way the topology describes the structure of space, paying attention to the topological transformations and their potential in designing architecture. Digital design space and dynamics of movement are considered as well - from the simplest transformations performed by the designer, to complex animations. From the space of the curves of  $\kappa$ -tau and its vector structure to the space parametrics. This space is important because there may arise an infinite number of similar to each other geometric objects, manifestation of previously prepared patterns of the dimensional variability, and patterns of relationships and activities which are mutually interdependent. Then, the attention is focused on NURBS curves and surfaces, which are particularly attractive to designers due to the easy handling of the shape, as well as the interactive manipulation of control points. At the end, the concepts of forming in digital spaces based on the basic information technology assumptions were listed.

Przeźreni cyfrowej nie stworzył jeden człowiek – jest ona wyrazem epoki eksploracji kosmosu, badań naukowych i dążeń człowieka do nowych kreacji znanych i nieznanych światów przełomu tysiącleci. Problem zapisu trzech wymiarów na płaszczyźnie został już rozwiązany w okresie renesansu, gdy perspektywa linearna, podejmując problem nieskończoności, została odkryta przez naukowców-artystów tamtego czasu. Znaleźli oni sposób, aby trójwymiarowy obraz 3D zapisać na płaszczyźnie jako dwuwymiarowy 2D. Wprowadzenie do architektury perspektywy oraz rysunków budowlanych (rzuty, przekroje, elewacje) miało wtedy tak samo doniosłe znaczenie i podobnie, jak wielowymiarowy zapis cyfrowy, rewolucjonizowało metody projektowania i budowania.

Przeźren jest zagadnieniem podstawowym, tak dla metodyki projektowania, jak i przyjętych w projektowaniu strategii. Media elektroniczne oferując projektantowi syntetyczne środowiska pracy twórczej zaoferowały nowe medium artykulacji przestrzeni projektowej. Można to odnieść do skutków odkrycia perspektywy w renesansie. Wtedy fizyczne modele wykonawcze i doświadczenie masonów zastąpiono rysunkiem perspektywicznym i ortogonalnym (rzuty, przekroje elewacje). Traktowano je jako medium komunikowania informacji potrzebnych by budowla mogła zostać zredlizowana w przestrzeni fizycznej. Musiano nauczyć się postrzegać przeźren projektową przez jej

dwuwymiarowy zapis na płaszczyźnie. W dobie narzędzi cyfrowych konieczna jest percepcja wielowymiarowej przestrzeni wirtualnej. Od projektanta wymaga się postrzegania tych przestrzeni przez ich osadzenie informatyczne. Dzięki tej umiejętności projektant może twórczo korzystać z odpowiednich procesów informatycznych ułatwiających powstawanie i transformacje formy.

### **Przestrzeń fizyczna a wirtualna**

W rozumieniu współczesnej fizyki całkowicie pusta przestrzeń nie istnieje. Badania dowodzą, że nawet bez obecności źródeł materii nie istnieje pusta czasoprzestrzeń - gdyż istnieje 'materia geometryczna' - pole grawitacyjne. Taka czasoprzestrzeń bez źródeł materii może mieć szczególne własności, np. swoiste 'zmarszczki', opisane falami grawitacyjnymi. Nawet kwantowa czasoprzestrzeń bez materii jest wypełniona tzw. wirtualnymi procesami kwantowymi.

Przywołując archetypy platońskiego myślenia Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker (1912-2007) opracował w połowie lat 70. koncepcję pozycjonowania w przestrzeni kwantowej zwaną teorią urb-objektów. U podstaw tej teorii jest założenie, iż każdy obiekt kwantowy może być opisany w przestrzeni pozycyjnej, która jest izomorficzna do złożonych tensorowo przestrzeni dwuwymiarowych. Relacja między tymi obiektami jest interaktywna i powinna być niezmienna. Stąd, przestrzeń pozycyjna jest przestrzenią parametryczną siły interakcji i powinna mieć tą samą strukturę, co symetryczna przestrzeń grupy symetrii urbów. Energia i materia zaś stają się kondensatami informacji<sup>1</sup>.

W architekturze, jak uzasadniał Gottfried Semper (1803-1879), są dwa sposoby konstruowania przestrzeni. Architekt w tektoniczny sposób gromadzi obiekty i pozycjonuje je w określonym porządku, pokonując grawitację, tworzy zamknięcia przestrzenne. Albo też architekt przesuwą, czy nadaje nową pozycję istniejącym już obiektom, żeby zorganizować przestrzeń. Sposoby te stanowią dla Sempera fundamentalną zasadę wznoszenia budowli i drażenia przestrzeni w litym kamieniu<sup>2</sup>. W myśl tej zasady Rudolph M. Schindler (1887-1953) przedstawił w 1916 system proporcji, wedle którego elementy budowlane były zestawiane z sobą, zgodnie z kodem numerycznym. Wygląd budynku zapisany był rzędami liczb w tabelach numerów, a nie rysunkiem budowlanym<sup>3</sup>. Czyli, pozycja i operowanie niewielkimi elementami w przestrzeni były już zwykłym zapisem cyfrowym. Dzisiaj, w podobny sposób zespół MVRDV z Rotterdamu określa na diagramach pozycję w przestrzeni elementów systemu FARMAX (*Maximum Floor Area Ration*), diagramy te pokazują tylko relacje między danymi parametrycznymi poszczególnych elementów budowlanych systemu, a nie same elementy.

Relacje pomiędzy aspektami przestrzeni, a zasadami, które nimi zarządzają można zatem rozumieć, jako strukturę przestrzeni. Jeśli przestrzeń nie miałaby żadnej struktury, to nie mogłaby zawierać różnorodnych elementów, które widzimy. Struktura jest jak katalog, w którym każdy obiekt ma własne parametry, które muszą być określone tak samo, jak zasady które rządzą poszczególnymi obiektami. Nawet, jeśli nie ma obiektów, ani struktury, to przestrzeń istnieje i można jej nadawać strukturę niezależnie od tych obiektów, gdyż jest pojemnikiem dla struktury<sup>4</sup>. Jednakże przestrzeń *per se* nie musi być przestrzenią fizyczną, a 'polem gry' dla wszystkich informacji, zaś pole grawitacyjne i elektromagnetyczne są tylko jedną z manifestacji informacji w przestrzeni, w jakiej żyjemy.

Trzeba wiedzieć, że przestrzeń generowana cyfrowo jest wypełniona informacją, jej regułami i treścią, które przez swoją cyfrową strukturę czynią ją rozpoznawalną. Taka przestrzeń posiada wielki potencjał, jeśli chodzi o opisywanie sposobu, w jaki postrzegamy i manipulujemy przestrzenią rzeczywistą. Przestrzeń informacji jest pomostem prowadzącym od tego, co realne i wyimaginowane do języka/mitów, technologii mediów, architektury i matematyki.

### **Topologia**

Strukturę przestrzeni dobrze opisuje topologia. W drugiej połowie XX w teoria mnogości dostarczyła matematyce języka formalnego dla stworzenia precyzyjnych podstaw topologii. Ważnych twierdzeń dowiedli uczeni: Leonhard Euler (1707-1783) i Henri Poincaré (1854-1912) oraz Solomon Lefschetz

---

<sup>1</sup> Por. Carl Friedrich von Weizsäcker, *Quantum Theory and the Structures of Time and Space*, Vol. 3. Carl Hanser, Munchen, 1979. s. 12.

<sup>2</sup> Por. Ibidem., s. 27.

<sup>3</sup> Patrz: Lionel March, Judith Sheine. *RM Schindler: composition and construction*. Academy Edition, London 1993, s. 88-101.

<sup>4</sup> Por. Thomas Leerberg, *Embedded Space*, Ph.D. Dissertation, The Danish Center for Integration Design, Copenhagen, 2004, s. 262.

(1884-1972), czyniąc z topologii istotę syntetycznych przestrzeni w grafice komputerowej. Nb. dopiero w 2002 Grigorij Perelman (ur.1966) udowodnił matematycznie topologiczną hipotezę Poincaré z 1904, że przestrzeń jest odpowiednikiem 'hipersfery', trójwymiarową powierzchnią czterowymiarowej kuli.

Po raz pierwszy topologia znalazła się w architekturze w latach 40. gdy Buckminster Fullera (1895-1983) wykorzystał ją w projektowaniu struktur wieloprzestrzennych zanim technologie cyfrowe dostarczyły architektom współczesnych narzędzi. Dla Fullera topologia, jest nauką o zasadniczym wzorze i strukturalnych związkach konstelacji wydarzeń. Fuller odkrył, że wszystkie wzory mogą być zredukowane do trzech pierwotnych pojęć: linii, punktu przecięcia dwóch linii oraz powierzchni. Ustalił on, że jest stała ilość względna tych trzech pierwotnych, prostych fundamentalnie i dalej nie dających się zredukować elementów wszelkich układów, wzorów.  $P+A=L+2$ , co znaczy, że ilość punktów plus ilość powierzchni zawsze jest równa ilości linii plus stała liczba  $2^5$ .

Wprowadzenie topologii do projektowania spowodowało skierowanie uwagi na relacje formy z miejscem lokalizacji i programem użytkowym. Współzależność ta strukturalizuje oraz organizuje zasady powstawania i transformowania formy. Bowiem, topologia, zajmując się aspektami przestrzeni, zgodnie z jej definicją matematyczną, bada te właściwości jakościowe form geometrycznych, na które nie wpływa zmiana rozmiaru lub kształtu. Czyli właściwości form pozostają niezienne przy przechodzeniu jednego kształtu w drugi w trakcie transformacji, lub elastycznych deformacji, takich jak skręcanie, albo naciąganie. Np. okrąg i elipsa oraz kwadrat i prostokąt są równoważne topologicznie, mogą być deformowane przez rozciąganie by stać się, odpowiednio, elipsoidą i prostokątem. Kwadrat i prostokąt mają tę samą liczbę krawędzi oraz wierzchołków i dlatego są topologicznie identyczne, czyli homeomorficzne.

Cecha homeomorfizmu jest dla architektów interesującą, gdyż koncentruje uwagę na strukturze relacji z obiektem, a nie na geometrii jego formy – struktura topologiczna *per se* mogłaby się manifestować geometrycznie w nieskończonej ilości form. Metaforą tej własności geometrii topologicznej jest siedziba korporacji IAC InterActiveCorp w Nowym Jorku (2004-2007). w projekcie tym Gehry wykorzystał homeomorfizm graniastosłupów. Transformacje topologiczne wynikają z określonych działań mających wpływ na strukturę relacji tak, aby rezultatem była forma, lub kilka form. Np. czworokąt może być transferowany w trójkąt przez tylko jedną operację, a to usunięcie jednego z jego wierzchołków. Potencjalne możliwości wykorzystywania jednostronnych powierzchni, takich jak wstęga Möbiusa i butelki Kleina, gdzie zanika różnica między stroną zewnętrzną a wewnętrzną, otwierają nowy dyskurs o rozróżnianiu wnętrza i zewnątrz w architekturze. Podczas gdy możliwości konceptualne geometrii topologicznej są intrygujące, to trudno jest tektonicznie zmanifestować ich jakość konceptualną. Ben Van Berkel i Caroline Bos ukazali to w projekcie Möbius House (1993-1998). Topologia staje się szczególnie atrakcyjna nie tylko ze względu na formy takie jak wstęga Möbiusa. Istotny jest prymat struktury samych powiązań, wzajemnego łączenia odpowiednich sobie cech wewnątrz i poza kontekstem projektowanego obiektu. Struktury topologiczne są często przedstawiane jako złożone, krzywoliniowe formy i przez to topologia jest niekiedy błędnie utożsamiana z zakrzywionymi płaszczyznami<sup>6</sup>.

W poszukiwaniu nowych przestrzeni cyfrowych dla projektowania zazwyczaj nie kwestionuje się przestrzeni topologicznej, lecz wykorzystuje jej podstawową charakterystykę, a to metrykę dyskretną (zerojedynkową)<sup>7</sup>. Metryka ta może być otrzymana na dowolnym zbiorze, gdzie możliwe są nie powtarzające się pozycje w przestrzeni, co nie występuje w przestrzeni mechaniki kwantowej, w której rządzą zasady prawdopodobieństwa. W tej przestrzeni obiekt, w danym momencie, nie znajduje się w jednym określonym miejscu, jest obecny w wielu pozycjach w tym samym czasie. W projektowaniu aplikacji, zwłaszcza gdy chodzi o elastyczne de-formacje przestrzeni, wszystkie formy i transformacje funkcji mogą być brane pod uwagę. Jeśli nawet struktury, lub przestrzenie topologiczne wydają się ulotne i budzą wątpliwości, to mogą, ze względu na swoje właściwości metryczne, być

<sup>5</sup> por. R. Buckminster Fuller, *Operating manual for spaceship "Earth"*, Southern Illinois University Press, 1969, s. 23 (tłum. Krzysztof Lenartowicz, Streszczenie w języku polskim: K. Lenartowicz, Alborg 1971).

<sup>6</sup> Por. Branko Kolarevic, *Digital morphogenesis*, w: (ed.) B. Kolarevic, *Architecture in Digital Age. Design and Manufacturing*, New York and London 2005, s. 13-14.

<sup>7</sup> Matematyka dyskretna - zbiorcza nazwa wszystkich działów matematyki które zajmują się badaniem struktur nieciągłych, to znaczy zawierających zbiory co najwyżej przeliczalne (czyli właśnie dyskretne).

aktywnym partnerem w budowaniu i projektowaniu przestrzeni, w której formę można definiować i formować w zależności od potrzeb.

### **Cyfrowa przestrzeń projektowa**

W projektowaniu cyfrowym przestrzeń wirtualna jawi się jako nieuchronne medium artykulacji przestrzeni projektowej. Architektura wirtualna definiowana jest przez środowisko cyfrowe, w jakim powstał projekt. Baza danych, odpowiada cyfrowej przestrzeni programów wspomagających projektowanie. Wirtualny potencjał architektury powinien być rozpatrywany wraz z cyfrowym środowiskiem projektu<sup>8</sup>.

Cyfrową przestrzeń projektową określa logika informatyczna, matematyczna i algorytmiczna. Implikacje formatów cyfrowych przez funkcje i wielomiany dały aplikacje o rozszerzonych możliwościach przestrzennych. Np. geometria krzywych parametrycznych NURBS pozwala na dokładne modelowanie, bez przybliżeń analitycznych, dowolnych krzywych i powierzchni, za pomocą jednego zestawu poleceń.

Geometria i matematyka są tylko opisem cech i relacji przestrzeni statycznej, niewrażliwej na zjawisko czasu. Są opisem wizji świata Descartesa czy Newtona, w której czas się zatrzymał. Uaktywniają ją algorytmy, które są procesami w czasie. W nich zawiera się opis procesu, w wyniku którego pewna wartość zmienia się w inną, jak w prostej formule algorytmicznej  $x = x + 1$ , oczywiście dla informatyki, a nonsensownej z punktu widzenia języka cech i relacji. Teorie algorytmiczne uwzględniają czynnik czasu i mówią w jaki sposób się nim posługiwać. Algorytm jest zatem opisem czynności, a klasyczna geometria i matematyka to opis cech.

Czas zatem, jest wprowadzony *a priori* na konceptualnym poziomie projektowania i nie jest li tylko abstrakcyjnym elementem projektu. W przestrzeni realnej, forma jest statyczna, zaś dynamizm i ruch mogą być wprowadzone tylko przez użytkownika lub obserwatora. W przestrzeni cyfrowej relacje te mogą być zmienianie. Zwłaszcza, gdy forma jest wynikiem procesów informatycznych. Architekt Carl Chu proponuje aby cyfrowa przestrzeń projektowa była traktowana jako „pre-przestrzeń” i rozumiana jako medium ontologiczne między koncepcją projektową a zrealizowanym obiektem. Łatwo bowiem o zatarcie granic między tym, co dotąd było rozumiane jako możliwe do zbudowania w przestrzeni fizycznej, a tym co można skonstruować w przestrzeni syntetycznej<sup>9</sup>.

Atrakcyjnym rodzajem dynamiki jest dynamika ruchu, poczynając od najprostszych przekształceń, wykonywanych przez projektanta, do złożonych animacji. Dzięki animacji udało się w 2007 wygenerować podróż przez hiperboliczną przestrzeń w oparciu o teorię węzłów i przestrzeni komplementarnych oraz nowych twierdzeń z zakresu struktur hiperbolicznych - geometrii, w której suma kątów trójkąta jest zawsze mniejsza niż 180 stopni.

Przestrzeń cyfrowa, mając wprowadzony czas bazowy zorganizowany interaktywnie i dynamicznie, można uruchamiać takie operacje przestrzenne, jak ewolucja, transformacja, hybrydyzacja i mutacja. Przy przedłużaniu animacji wykorzystuje się własności czasu złożonego, który może być postrzegany jako nieliniowy, inaczej rozumiany niż czas czwartego wymiaru animacji architektury. Nieliniowy system odczytywania czasu jest przeciwieństwem modulacji kinematycznej. Wykorzystuje się go coraz częściej w formowaniu i przedstawianiu architektury oraz w technologii<sup>10</sup>. Narzędzia cyfrowe zatem zmieniają także dotychczasową relację przestrzeni i czasu w projektowaniu architektury.

### **Przestrzeń krzywych *kappa-tau***

Ważną strukturę topologiczną opartą o krzywe, opracowali Rudy Rucker wraz z Johnem Walkerem (AutoDesk) w latach 1988-1992. Opisali oni przestrzeń krzywych *kappa-tau* w oparciu o teorię Alexis-Claude Clairauta (1713-1765) opublikowaną w *Recherche sur les Courbes a Double Courbure*.

W 1731 Clairaut przedstawił koncepcję ‘podwójnej krzywizny’, co oznaczało, że droga przez trójwymiarową przestrzeń może zawiązać się na dwa niezależne sposoby. Chodziło mu o krzywe, które są jak projekcja ich cieni rzuconych, na podłogę, lub ścianę. Rozpatrując to wygięcie planarne, cienie

<sup>8</sup> Por. Greg Lynn, *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York 1999, s. 38.

<sup>9</sup> Por. Karl Chu, op., cit. s. n. p.

<sup>10</sup> Por. Gregory More, *Animated Techniques. Time and the Technological Acquiescence of Animation*, Architecture + Animation, AD, vol. 71, no2, April 2001, s. 22.

krzywych Clairaut wyprowadził w oparciu o prace Issaka Newtona<sup>11</sup>.

Przestrzeń krzywych *kappa-tau* nie jest definiowana przez przestrzeń bezwzględnie układu współrzędnych  $x, y, z$ , który mapuje każdy punkt na krzywej w tej przestrzeni, czyli w przestrzeni jako pojemniku. Natomiast każdy punkt jest tu opisywany przez trzy wektory: tangens (T), normalny (N) i binormalny (B), które wyznaczają układ trzech płaszczyzn. Jednak, nie budują one jeszcze struktury przestrzeni. Dopiero rotacje krzywych w tych płaszczyznach pozwalają otrzymać strukturę przestrzenną. Jest ona matematyczną deskrypcją dynamicznej struktury, generowaną przez otwarty, skończony proces, który łatwo kierunkować przez proste zasady algorytmiczne.

W architekturze pierwsze eksperymenty z przestrzenią krzywych *kappa-tu* przeprowadzał Karl Chu na początku lat 90. aby animować procesy formotwórcze zachodzące w przyrodzie. Otrzymane w tej przestrzeni formy traktowane były jako szkice koncepcyjne i stanowiły punkt wyjścia do analiz funkcjonalnych i oceny właściwości estetycznych i budowlanych formy. Architekci Maurice Nio i Lars Spuybroek wykorzystując przestrzeń *kappa-tau* w projektowaniu podejmują dyskurs nad rolą tej geometrii w materializacji formy. Bowiem, geometria przez swoje trzy wektory sugeruje interakcję ze środowiskiem i materią interaktywną<sup>12</sup>. Pawilon H<sub>2</sub>O (1994-1997) dzięki tej geometrii jest formą, której przestrzeń wewnętrzna sprzyja tworzeniu środowisk immersyjnych z udziałem urządzeń interaktywnych. Jest to rodzaj „jaskini”, w której ekspozycja edukacyjna zestrojona jest z formą obiektu i rozegrana światłem, kolorem i dźwiękiem. Przestrzeń krzywych *kappa-tau* jest względną. Krzywe te nie są definiowane przez punkty kontrolne, jak krzywe Bezierra i NURBS. Przestrzeń *kappa-tau* wynika z charakterystyki samych krzywych, które czynią strukturę wysoce dynamiczną, reagującą natychmiastowo i nieprzewidywalnie.

Greg Lynn zauważa, że przejście z pasywnej przestrzeni statycznych współrzędnych do aktywnej przestrzeni interakcji, implikuje odejście od autonomicznej czystości do specyfiki kontekstu. Architektura może być modelowana jako immersyjny uczestnik będący wewnątrz dynamicznych strumieni przepływów, a nie występować w statycznych ramach poza czasem i przestrzenią. Zostały stworzone warunki do modelowania formy w przestrzeni, która jest medium dla ruchu i oddziaływania sił<sup>13</sup>.

Przestrzeń *kappa-tau* jest ważnym narzędziem w projektowaniu aeronautycznym, motoryzacyjnym i okrętowym. Programu CFD (*Computer Fluid Dynamics*, czyli symulacja dynamiki przepływu) pozwala testować aerodynamikę bez konieczności korzystania z badań w tunelu aerodynamicznym. Obecnie przestrzeń krzywych *kappa-tau* jest jedną z ważniejszych aplikacji struktur animowanych, jak MAYA. Architekci, między innymi Lars Spuybroek, Karl Chu i Greg Lynn traktują przestrzeń krzywych *kappa-tau* jako generator nowych form.

### Parametryczność przestrzeni

W topologii przestrzeni parametryczna, 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/kartezjańska - 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 powierzchnie Bezierra i NURBS.

W przestrzeni parametrycznej może powstać nieskończoną ilość, podobnych do siebie, obiektów geometrycznych, manifestacji przygotowanych wcześniej schematów zmienno wymiarowych, czy schematów relacji i działań wzajemnie od siebie współzależnych. Zmiennym przydzielane są określone wartości, a każdy przypadek daje potencjalnie 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,

---

<sup>11</sup> Por. Morris Kline, *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times*, Oxford U. Press, New York 1972, s. 557.

<sup>12</sup> Por. Maurice Nio & Lars Spuybroek (1996), *The Strategy of the Form*, [http://synworld.t0.or.at/level2/soft\\_structures/allgemein/strategy.htm](http://synworld.t0.or.at/level2/soft_structures/allgemein/strategy.htm), n. p., także: Maurice Nio, Lars Spuybroek, *De Strategie van de Vorm*, de Architect, themanummer 57, 11/1994.

<sup>13</sup> Greg Lynn, *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York 1999, s. 11.

że obiekty są z sobą na wzajem powiązane<sup>14</sup>. Zatem, w przestrzeni parametrycznej można ustalić zależności między obiektami tak, aby podczas transformacji mogły zachowywać się w zdefiniowany sposób. Jak zauważa Mark Burry, właśnie ta zdolność określania, ustalania i rekonfiguracji powiązań geometrycznych jest wyjątkowo cenna<sup>15</sup>.

Projektowanie parametryczne 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 80. opracowali metodologię projektowania parametrycznej architektury<sup>16</sup>. Modelowanie parametryczne zmieniło reprezentację projektu z czytelnego zapisu geometrycznego na instrumentalne powiązania geometryczne. Projektowanie parametryczne często pociąga za sobą procedury algorytmicznej deskrypcji geometrii, zwłaszcza gdy poszukuje się nowych pomysłów odnośnie formy projektowanego obiektu. Marcos Novak badał tektonikę budynku za pomocą programu *Mathematica*. Jego modele matematyczne i procedury generatywne obejmują zmienne wejściowe nie związane z głównym tematem. Każda zmienna, lub proces, są mapowane, bez względu na konsekwencje statyczne lub dynamiczne. Novak nie manipuluje samym obiektem, lecz relacjami, polem oddziaływań, oraz krzywizną powierzchni<sup>17</sup>. Dokonuje interwencji w strukturę ustabilizowaną geometrycznie na rzecz nowej niestabilnej formy. Jest to wizualna odpowiedź na dane parametryczne dotyczące przewidywanych dynamicznych zmian środowiskowych. Podobnie postępuje Stven Holl ingerując w strukturę fraktalną (gabka Mongera) Simmons Hall (1999-2002) w kampusie MIT w Cambridge (Mass.). Zaś Mark Burry pokazał jak uzyskiwać efekty morfowania, (*pramorph*) przez deskrypcję formy niestabilnej przestrzennie i topologicznie, ale o stabilnej charakterystyce<sup>18</sup>. Implikacje te świadczą, że projektowanie parametryczne nie tylko musi odnosić się do ustabilizowanych form.

Parametryzacja jest obecnie jednym z ważnych aspektów wydajnego projektowania 2D i 3D. Pojęcie to pochodzi z języka angielskiego i oznacza sterowanie parametrem grafiki, co należy rozumieć jako sterowanie wymiarami przez parametr liczbowy. Jest to jedna z najbardziej użytecznych funkcji w projektowaniu wykorzystującym normy oraz elementy powtarzalne. Dzięki niej możemy otrzymać kolejną wersję elementu, podając nowe wartości liczbowe wymiarów, bez powtórnego przerysowywania.

### **Krzywe i płaszczyzny NURBS**

Zanim narzędzia cyfrowe zaczęły wspomagać projektowanie kształtowanie formy, w dużej mierze, ograniczała geometria euklidesowa (linie okręgi czworokąty, etc.). Rysowanie i opisywanie złożonych krzywych polegało na aproksymacji stycznych i okręgów.

Wprowadzenie nowego narzędzia modelującego do projektowania architektury spowodowało odejście od geometrii euklidesowej i kartezjańskiej przestrzeni na rzecz przestrzeni strukturalizowanych cyfrowo z ich własną logiką. Popularne aplikacje NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) oparte o przestrzenie topologiczne, pozwalają modelować krzywe i powierzchnie ciągłe.

Nazwa *B-Spline* pochodzi bezpośrednio od nazwy długiej elastycznej taśmy metalowej używanej przez kreślarzy do wykreślania przekrojów, czy kształtu powierzchni, samolotów, samochodów i statków. Obciążniki (wagi) dołączane do taśmy umożliwiały wyginanie jej w różnych kierunkach. Używano jej do wykreślania elementów, które wymagały krzywych gładkich.

Dziś cyfrowy ekwiwalent, matematyczny takich taśm, to krzywa *B-Spline* (krzywa sklejana) trzeciego stopnia - jest to wielomian trzeciego stopnia z określoną ciągłością, który interpoluje punkty kontrolne. Krzywe *B-Spline* składają się z segmentów krzywej, której współczynniki wielomianów zależą tylko od kilku punktów kontrolnych. Stąd przesuwanie punktu kontrolnego wpływa tylko na niewielką część krzywej.

Krzywe i powierzchnie NURBS są szczególnie atrakcyjne dla projektantów ze względu na łatwe operowanie kształtem przez interaktywne manipulacje punktami kontrolnymi takimi jak: węzły, punkty wagi (liczby rzeczywiste). Ich zmiany mają wpływ na krzywą. Powierzchnia NURBS jest najbar-

---

<sup>14</sup> Patrz: Marcos Novak, *Transarchitectures and Hypersurfaces*, w: (red.) Giuseppe di Cristina, *Architecture and Science*, Wiley-Academy Edition, London 1998, s. 153-157.

<sup>15</sup> Por. Mark Burry, *Paramorph*, AD, vol. 69, no. 9-10, 1999, s. 78-83.

<sup>16</sup> Patrz: Achim Menges, *Instrumental Geometry*, AD, vol.76, no.2, s. 42-83.

<sup>17</sup> Por. Marcos Novak, *Transarchitectures and Hypersurfaces*, op., cit., s. 155.

<sup>18</sup> Por. Mark Burry, *ibidem*.

dziej elastyczną metodą matematyczną do przedstawienia modelu powierzchni. Powierzchnię *B-spline* łatwo modyfikować, gdyż każdy biegun siatki kontrolnej, tylko w ograniczonym stopniu wpływają, na kształt powierzchni. Siatka kontrolna jest analogiem wieloboku kontrolnego krzywej *B-spline*. Za pomocą aplikacji NURBS można modelować różnorodne, lecz spójne formy. Są one wymierne ze względu na krzywe wymierne (*Rational*), które zdefiniowano we współrzędnych jednorodnych (po przejściu na współrzędne kartezjańskie otrzymuje się funkcje wymierne), podobnie jak w przypadku wymiernych krzywych Bezierra. Konstruowanie i realizacja form jest w pełni możliwa ze względu na przełożenie na numeryczne urządzenia (CNC). Stąd szerokie zastosowanie krzywych i powierzchni NURBS w konstruowaniu różnego rodzaju form geometrycznych, od prostokreślnych i brył platońskich po złożone, rzeźbiarskie powierzchnie. NURBS zapewnia skuteczną reprezentację form geometrycznych przez minimalną ilość danych. Jest popularnym narzędziem modelującym.

W przestrzeni cyfrowej projektant korzysta z różnych procesów powstawania i transformacji formy – cyfrowych procesów morfogenetycznych. W cyfrowym projektowaniu architektonicznym można rozróżnić koncepcje formowania oparte na podstawowych założeniach informatycznych. Koncepcje te przedstawi ARCHIVOLTA w następnym numerze.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Burry, *Paramorph*, AD, vol. 69, no. 9-10, 1999, s. 78-83.
- [2] B. Fuller, *Operating manual for spaceship "Earth"*, Southern Illinois University Press, 1969.
- [3] M. Kline, *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times*, Oxford U. Press, New York 1972.
- [4] B. Kolarevic, *Digital morphogenesis*, w: (red.) B. Kolarevic, *Architecture in Digital Age. Design and Manufacturing*, New York and London 2005.
- [5] G. Lynn, *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York 1999.
- [6] T. Leerberg, *Embedded Space*, Ph.D. Dissertation, The Danish Center for Integration Design, Copenhagen, 2004, Achim Menges, *Instrumental Geometry*, AD, vol. 76, no. 2, s. 42-83.
- [7] G. More, *Animated Techniques. Time and the Technological Acquiescence of Animation*, Architecture + Animation, AD, vol. 71, no. 2, April 2001.
- [8] L. March, Judith Sheine. *RM Schindler: composition and construction*. Academy Edition, London 1993
- [9] M. Novak, *Transarchitectures and Hypersurfaces*, w: (red.) Giuseppe di Cristina, Architecture and Science, Wiley-Academy Edition, London 1998.
- [10] C. F. von Weizsäcker, *Quantum Theory and the Structures of Time and Space*, Vol. 3. Carl Hanser, Munchen, 1979. s. 11-17.