

# REPREZENTACJA PRZESTRZENI ARCHITEKTONICZNEJ U PROGU PRZEŁOMU INFORMATYCZNEGO

JAN SŁYK

## STRESZCZENIE

Wirtualna przestrzeń zbudowana z voxel, której składniki programujemy, to więcej niż środowisko gier komputerowych. Cyfrowa reprezentacja, o której Mitchell, jeszcze w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, pisał przez pryzmat fotografii, dociera dziś do sedna zainteresowań architektury. Zapewnia jej, po raz pierwszy w historii, skuteczny aparat przekazu. Być może - przenosi do grona uprzywilejowanych sztuk jednostopniowych, gdzie efekt dostępny jest natychmiast – w chwili aktu twórczego.

Nowa metoda otworzyła nowe możliwości. Z jednej strony udostępniła poligon do prób, z drugiej – alternatywne środowisko kreacji architektonicznej. Przestrzeń architektoniczna reprezentowana jest dziś przy pomocy medium cyfrowego, przez co uzyskuje cechy, które wypunktował Manovich. Percepcja przestała być funkcją eksploracji. Chwilowe stany zmieniają się dynamicznie, zależnie od zmierzonych w otoczeniu parametrów

i życzeń użytkownika, czyli w wyniku interakcji. Kształtowanie zmiennego otoczenia wymaga użycia narzędzi programistycznych. Nie jest już kreowaniem docelowych stanów, lecz reguł ich zmienności. Granice między rzeczywistością realną, wirtualną i informacyjną ulegają zatarciu dzięki swobodnemu tłumaczeniu, natychmiastowemu przesyłaniu na odległość oraz dostarczaniu zmysłom sygnałów tworzonych przez niezauważalne, cyfrowo sterowane, przenośne aparaty. Stopień cyfrowej reprezentacji modelu komputerowego, jego projekcji, rzeczywistych materiałów, cyfrowej produkcji oraz sensorów, urządzeń komunikacyjnych i mechanizmów sterowanych komputerowo, pozwala mówić o ciągłym, przestrzennym środowisku informacyjnym, tworzącym medium.

Słowa kluczowe: voxel, reprezentacja, geometria, percepcja, wirtualna rzeczywistość, perspektywa

## REPRESENTATION OF ARCHITECTURAL SPACE AT THE BEGINNING OF THE INFORMATION REVOLUTION

### ABSTRACT

Virtual space built of voxels, the components of which we program, is more than the environment of computer games. Digital representation, about which Mitchell was already writing in the 1990s, though from the perspective of photography, today has become an essential factor in architecture, providing, for the first time in history, an effective transmission device. It may have moved it to the privileged group of one-stage art forms, in which the effect is accessible immediately, at the moment of the creative act.

The new method opened up new possibilities. On the one hand, it provided the ground for trials, on the other – an alternative environment of architectural creation. Architectural space is represented today through a digital medium, thus achieving features enumerated by Manovich. Its numerical structure, modularity and automaticity result directly from the binary form of the data. Perception is no longer a function of exploration. Momentary states change dynamically, depending on the parameters of the

surrounding environment and the wishes of the user, in other words, as a result of interaction. Shaping a changing environment requires the use of programming tools. It is no longer the creating of target states, but the rules of their variability. The boundaries between real, virtual and information reality are blurred due to free translation, immediate remote transfer, and the delivery to the senses of signals created by imperceptible, digitally controlled, portable devices. The merging of the digital representation of the computer model, its projection, actual materials, digital production and sensors, communication devices, and computer-controlled mechanisms, makes it possible to talk about a continuous spatial information environment that creates the medium of contemporary architecture.

Keywords: voxel, representation, geometry, perception, virtual reality, perspective

Produkty działalności architektonicznej są na tyle konkretne, że niekiedy pomijamy w refleksji problem tworzywa, które przekształca autor dążąc do

wyznaczonego ideał celu. Budowle z kamienia, stali, betonu tworzą jeden z najistotniejszych składników ludzkiego postrzegania. Widzimy je wokół siebie,

dotykamy, słyszymy, poruszając się odczuwamy skutki w nerwach aparatu ruchowego, reagujemy na kierunkowe sygnały zapachowe, zmiany równowagi. Z perspektywy odbiorcy łatwo konkretyzujemy fizyczne substraty oraz reguły wiążące mniejsze części w całość. Słuchając utworu muzycznego, wiersza, patrząc na obraz, znajdowalibyśmy się w rzeczywistości nieodległej od tej, którą eksploruje twórca formujący przekaz. Obcuje z architekturą musimy pamiętać, że i dla autora efekt ostateczny był definitywnym sprawdzeniem założeń. Tworzywo z reguły nie ogląda światła dziennego. Im bardziej skomplikowana forma, tym większy dystans dzieli twórcę od odbiorcy, intencję od interpretacji.

W dwudziestowiecznym przekazie medium architektury utożsamiane jest z przestrzenią. Dzięki Bruno Zeviemu mówimy o „sztuce kształtowania przestrzeni”<sup>1</sup>, co wstępnie zarysowany problem rozwiązuje tylko w części. Trudno bowiem dociec uniwersalnego znaczenia przestrzeni, a raczej trudno się go spodziewać w przypadku słowa określającego środowisko, kontekst – znajdujące się poza wyróżnialnymi obiektami. Parmenidejska strzała pokonywała dystans, choć ani jej ruchu, ani przestrzeni nie potrafili Eleaci opisać. Fakt istnienia strzały w kolejnych, dziś powiedzielibyśmy różniczkowych, stacjach dowodził ogólniejszego procesu umykającego rozumowi.

Dla okiełznania pustki, w której rozgrywa się odkrywany zmysłami świat, starożytni wymyślili geometrię. Stworzyli koncepcję przestrzeni matematycznej, czyli abstrakcyjnego środowiska, w którym obowiązują reguły rządzące modelowymi obiektami. Zawierało ono pierwiastki idealistyczne wynikające z arbitralności przyjętej aksjomatyki. Było przy tym najdoskonalszym znanym narzędziem, pozwalającym syntetyzować zjawiska obserwowane w naturze. Przestrzeń matematyczna to zbiór, w którym obowiązują określone relacje i działania. Widać od razu, że problem „pustki pomiędzy” intrygującej filozofów znika w świetle definicji opartej na regułach. Kryterium „objętości” nie znajduje zastosowania w abstrakcyjnym środowisku. Granice wyznacza przyjęty system uporządkowania.

Geometria, jak każda teoria matematyczna, może być jedynie grą z aksjomatami. Istnieje wiele geo-

metrii, które powstały dla rozwiązania problemów teoretycznych, złożonych zagadnień fizyki, kosmologii<sup>2</sup>. Podsumowana epokowym dziełem Euklidesa geometryczna myśl grecka stworzona została w duchu pragmatycznym. Opisywała, czy raczej uogólniała efekt postrzegania zmysłowego, przez co dobrze interpretowała zjawiska obserwowane w skali architektonicznej. Figury geometryczne stanowiły odniesienia dla realnych elementów budowli (trójkąt > tympanon, walec > kolumna, spirala > woluta itd.). Reguły i przekształcenia pozwalały opisywać relacje pomiędzy elementami, a w efekcie ustalać zasady proporcjonalności, będące wyznacznikiem kanonu (stylu). (il. 1) Wizja architektury antyku przedstawiona w dziele Witruwiusza jest dowodem siły oddziaływania geometrii euklidesowej. Kryteria definiujące w drugim rozdziale pierwszej księgi dotyczą kształtu i korzystają z logiki skalowania wywiedzionej z „Elementów”. *Ordinatio*, czyli uporządkowanie jest ogólną cechą budowli, która wynika ze „stosunku liczbowego” pomiędzy wymiarami elementów<sup>3</sup>. *Dispositio* zaś określa rozmieszczenie elementów względem siebie. Wymieniając różne rodzaje *dispositio* podaje Witruwiusz opisy rzutu, elewacji, centralnej perspektywy. Píše, że powinny zostać wykonane w skali, za pomocą linijki i cyrkla (!). Można podejrzewać, że odniesienie do narzędzi kojarzonych przez studenta architektury ze zmorą zajęć geometrii wykreselnej zastosowano nie tylko z pobudek praktycznych. Linijka i cyrkiel pozwalają narysować prostą i okrąg – dwie idealne figury płaskie, które „ślizgają się” po swym kształcie<sup>4</sup>. Witruwiusz nie dostrzegał różnicy między architekturą a jej rysunkową reprezentacją. Wymiennie używał określeń dotyczących budynku i rzutów. Czynił tak prawdopodobnie przez zanurzenie w myśli pitagorejskiej – w tym dzięki znajomości teorii Euklidesa. Uważał, że skoro dedukcyjnie sprawdzona aksjomatyka pozwala przewidywać podobieństwo cech skalowanych obiektów, to posługiwanie się rysunkami jest uzasadnioną metodą architektury.

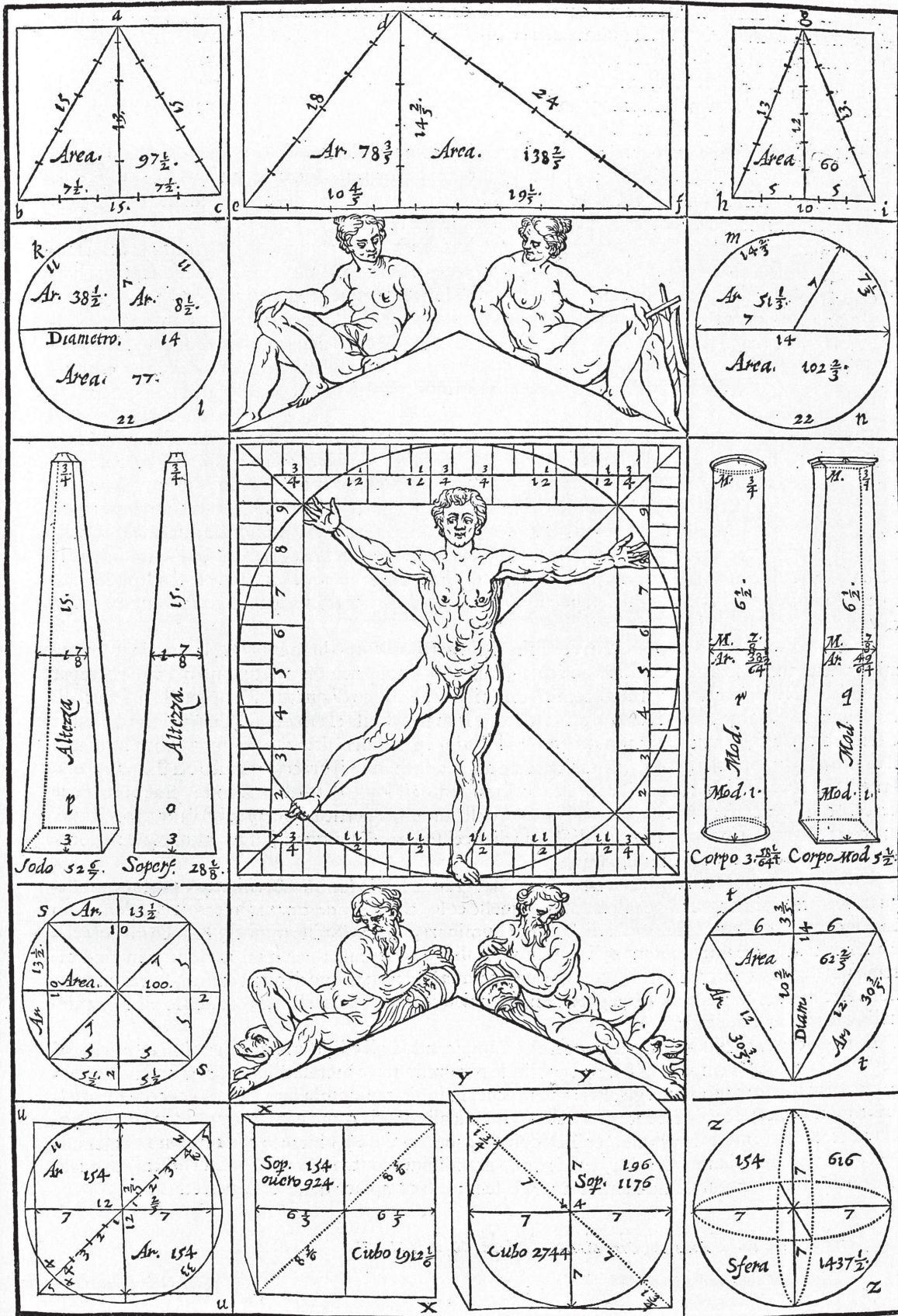
Teoria figur i przekształceń wraz z narzędziami geometrii wykreselnej służy architekturze dla opowania idei wielkich budowli. Dobrodziejstwo skalowania zapisane twierdzeniem Talesa pozwala dowolnie „zmniejszyć” lub „powiększyć” wyodręb-

<sup>1</sup> B. Zevi, J.A. Barry, *Architecture as space: how to look at architecture*, Da Capo Press 1993, s. 32.

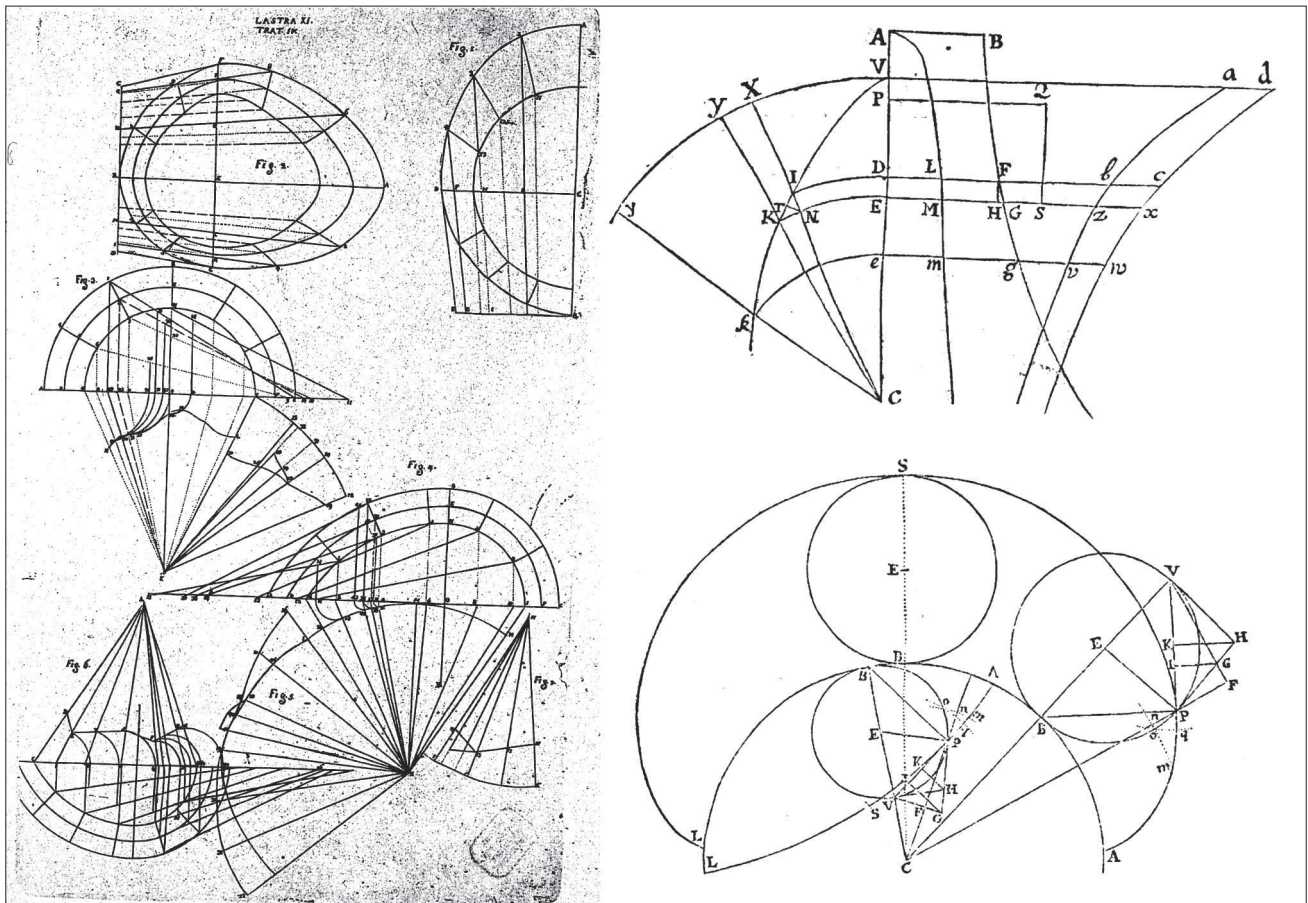
<sup>2</sup> M. Kordos, *O różnych geometriach*, Warszawa 1978, s. 75.

<sup>3</sup> Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Warszawa 1956, s. 15.

<sup>4</sup> Na płaszczyźnie są to jedyne figury o tej własności, w przestrzeni dochodzi jeszcze spirala; nawiązanie to można rozumieć jako efekt oddziaływania myśli platońskiej.



1. Studia proporcji zanurzone w tradycji euklideskiej, oparte na wykorzystaniu proporcji wspólnych; Vincenzo Scamozzi *L'Idée de l'architecture universelle*, księga I  
 1. Studies of proportions immersed in the Euclidean tradition, based on commensurate proportions; Vincenzo Scamozzi *L'Idée de l'architecture universelle*, book I



2. Guarino Guarini, *Architettura civile*, traktat IV (po lewej), Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (po prawej), rozdział IX  
 2. Guarino Guarini, *Architettura civile*, treatise IV (on the left), Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (on the right), ch. IX

niony fragment na desce projektowej z gwarancją, że realizacja nie zmieni proporcji dzieła. Guarino Guarini podkreślał rolę geometrii jako głównej techniki pracy architekta. Widział w niej pomost łączący *disegno* z realnym otoczeniem przestrzennym. Podobnie jak Euklides (a później Kant) wierzył w ideową jedność świata rzeczywistego i matematycznej reprezentacji. Za pomocą środków geometrycznych starał się dotrzeć do piękna, które wynika ze zrozumienia porządku natury:

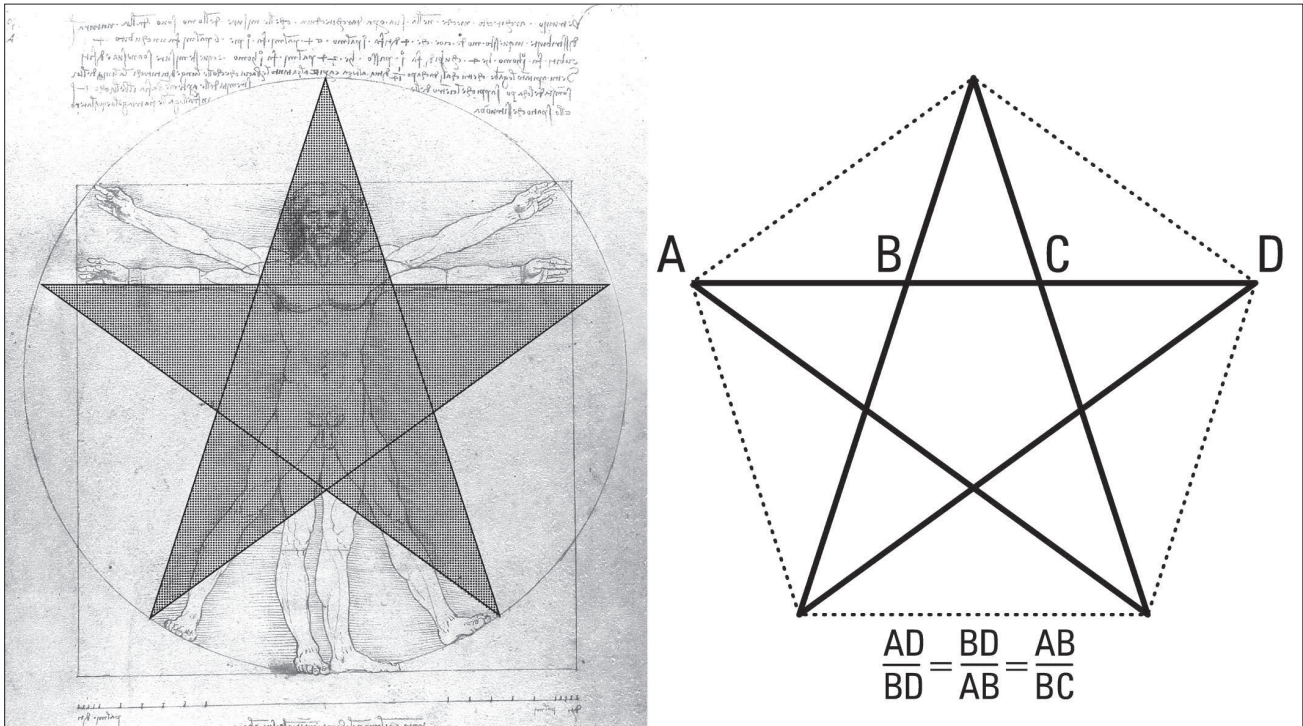
„Pomimo, że architektura zależy od matematyki, jest też uniżoną służebnicą sztuki, która w żadnym przypadku nie zawiodłaby zmysłów”<sup>5</sup>.

Czynił to w momencie, gdy dokonywany był kolejny przełom. Dzięki koncepcji Kartezjusza teoria liczb uzyskała bezpośredni związek z geometrią. Pustka, w którą zanurzono figury opisane aksjomatycznymi definicjami Euklidesa przekształciła się w trójwymiarowy układ współrzędnych. Lokalizacje

w przestrzeni zostały opisane liczbami, a ich zmiany – przekształceniami algebraicznymi. W opinii Spenglera jest to moment rozkwitu kultury Zachodu<sup>6</sup>, a jednocześnie – przełom w sposobie postrzegania świata. Bezpośredni związek natury i geometrii rozumiany jako odwzorowanie form i kształtów ustępuje miejsca rozumowaniu relacyjnemu. Gdyby dać Parmenidesowi narzędzie funkcji, umiałby opisać zależność prędkości strzały, czasu i drogi przez nią przebytej. Dzięki badaniu przebiegu zmienności procesu, kolejne stany jednostkowe związałyby się w logiczną (różniczkowalną) całość. Jako że koncepcja matematyczna nie jest sprawą naukową, lecz filozoficzną – interferencje kartezjańskiego poglądu dostrzegamy we wszystkich dziedzinach życia. Przede wszystkim w dziełach myślicieli epoki – Pascala, Fermata, Desarguesa, później Newtona i Leibniza. Spenglerowskie interpretacje dotyczące sztuki trzeba traktować z rezerwą, jednak trudno za-

<sup>5</sup> G. Guarini, *Architettura Civile*, Milano 1968, s. 10 (tłum. Autora).

<sup>6</sup> O. Spengler, *Zmierzch Zachodu*, Warszawa 2001.



3. Człowiek witruwiański w ujęciu Leonarda oraz ilustracja złotego podziału oparta na pięciokącie foremnym – rys. J. Słyk  
 3. Vitruvian Man by Leonardo da Vinci and an illustration of the golden ratio based on the regular pentagon by J. Słyk

przeczyć, iż doskonałość strukturalna polifonii barokowej objawia się niespodziewanie w tym samym okresie, zaś grafiki Guarino Guariniego ilustrujące dzieło *Architettura Civile* przywołują skojarzenia z epokowym dziełem Newtona<sup>7</sup>. (il. 2)

Architektura nie poprzestaje na korzystaniu z narzędzi dostarczonych przez geometrię, które pozwalają jej syntetycznie reprezentować przestrzeń. Podąża tropem odkryć matematycznych wykorzystując figury dla inspiracji form, zaś reguły i przekształcenia - dla inspiracji metod. Mówiliśmy już o zbieżności konstrukcji Euklidesa z metodyką Witruwiusza. Szczególnie fascynowało architektów to, co i na polu matematyki wymagało znacznego wysiłku poznawczego. Problem niewspółmierności proporcji drażnił starożytnych do tego stopnia, że wskutek intelektualnego kryzysu wygnali Pitagorasa z Krotony<sup>8</sup>. Kiedy jednak pojawiło się rozwiązanie – graficzne ilustracje przenikać zaczęły na pole architektury. Człowiek witruwiański, wzorzec proporcjonalności, konstruowany był w wersji oryginalnej dzięki proporcjom współmiernym, jednak dzięki powiązaniu kwadratu i koła – korzysta także z relacji niewspółmiernej (poprzez mnożnik  $\pi$ ). W wersji z wysuniętymi poza

okrąg narożnikami kwadratu, przedstawionej w renesansie przez Leonarda – pozwalał wpisać sylwetkę ludzką w pentagram – figurę, dzięki której pitagorejczycy okiełznali złoty podział. (il. 3) Idealne plany miast Vasariego są kontynuacją poszukiwań złożonych gwiaździstych symetrii. Szczyt „wykreślonej architektury” to wspomniane już wcześniej dzieła Guariniego, a wśród nich – fascynujące instrukcje wyznaczania krzywizn sklepiennych dla kościoła San Lorenzo.

Przełom kartezjański dostarczył nowych metod, z których stopniowo zaczynały czerpać architektoniczne koncepcje. Szczególnie silnie – po dokonaniach matematyki dziewiętnastowiecznej, formalizującej fascynujące, nie znane wcześniej kształty. Ujęcie złożonych krzywych za pomocą funkcji pozwoliło operować w projekcie profilami i powierzchniami o płynnie zmieniającej się geometrii. Co więcej – dostarczyło podstaw dla analizy stanów konstrukcji. Zjawiska fizyczne, oddziaływanie ciężaru, później również wiatru i temperatury, cechy materiałów, znalazły przełożenie na geometryczną charakterystykę elementów budowli. Dzięki temu powstały obiekty inżynierskie znacznych rozpiętości

<sup>7</sup> Chodzi tu przede wszystkim o wydaną w roku 1687 *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

<sup>8</sup> M. Kordos, *Wykłady z historii matematyki*, Warszawa 2010, s. 51.



4. Muzeum Mercedes Benz w Stuttgarcie, proj. by UN Studio, obiekt inspirowany teorią węzłów, fot. J. Słyk  
 4. The Mercedes Benz Museum in Stuttgart, proj. UN Studio, building inspired by knot theory, photo J. Słyk

i wysokości, w konsekwencji zaś – rozkwitła twórczość wynikająca z fascynacji wydajnością nowych konstrukcji, manifestowana dobitnie w dziełach Antonio Gaudiego, Buckminstera Fullera, Frei Otto.

Rozwój matematyki miał i bardziej namacalne, fizjonomiczne skutki w dorobku architektury współczesnej. Rozważania dotyczące przestrzeni wielowymiarowych zaowocowały koncepcją obecnych w niej figur. Ludwig Schläfli przedstawił sześć takich obiektów, jednak silniejszy wpływ na sztuki plastyczne i architekturę wywołała publikacja Henry’ego Manninga<sup>9</sup>, zawierająca projekcję hipersześcianu do przestrzeni trójwymiarowej. Jej echa widzimy w dziełach Salvadora Dali, El Lisitzkiego oraz Theo van Doesburga<sup>10</sup>. Książka *Analysis Situs* Jules Henri Poincarégo oraz ilustracje dotyczące przekształceń topologicznych zaowocowały interpretacjami w grafice Bauhausu, pracach Cornelisa Eschera, zaś współcześnie – dosłownymi odniesieniami w zrealizowanych projektach pracowni UN Studio. Można dyskutować o realności deklaracji ideowej twórców Muzeum Mercedesesa wiodącej czytelnika ku teorii węzłów<sup>11</sup>. W sensie użytkowym – załamuje się tytułowe uzasadnienie formy Möbius

House. Nie zmienia to faktu, że budowle zbliżają się fizjonomicznie do kształtów charakteryzujących specyficzne zagadnienia topologii i że tworzą dzięki temu odmienny, świeży kontekst przestrzenny (il. 4). Po publikacji Benoît Mandelbrota<sup>12</sup> do sfery dyskursu architektonicznego wszedł termin „fraktal”, który autor wywiódł od łacińskiego *fractus* (podzielony, nieregularny). Piękno fraktali urzeka architektów. Skłania do upatrywania w nich nowego środowiska twórczego – „geometrii fraktalnej”. Pomimo że samopodobne figury tworzone już wcześniej, to właśnie lektura Mandelbrota, który czyni ze swych rozważań niemal osobną gałąź poznania, ośmiela do zacerpnięcia inspiracji. Autor pisze o geometrii „zimnej” i „suchej”, czym kwituje dorobek Euklidesa. Przeciwstawia mu gorącą rzeczywistość organicznie wzrastających form, otwierając pole do interpretacji. Peter Eisenman w projekcie domu 11a stosuje metodologię, która przywodzi na myśl samopodobieństwo, choć w sensie ścisłym nim nie jest. Greg Lynn idzie krok dalej. Przygotowując projekt konkursowy Opery w Cardiff (1994) analizuje obrys sąsiadującej z budynkiem owalnej zatoki. Linia styku wodnej tafli i gruntu dostarcza informacji in-

<sup>9</sup> H.P. Manning, *Geometry of Four Dimensions*, New York 1914.

<sup>10</sup> J. Słyk, *Źródła architektury informacyjnej*, Warszawa 2012, s. 55.

terpretowanych dzięki restytucji fraktalnego wzoru. Po uproszczeniu staje się ona podstawą budowy formy, która zgodnie z postulatem Bateson'a naśladuje symetryczne wzory biomorficzne<sup>13</sup>. Poszukiwanie rozwiązania problemu sieci najefektywniej dzielącej przestrzeń na komórki doprowadziły Lorda Kelvina do rozwiązania opartego na zestawianiu ściętych ośmiościanów. Model doskonalszy przedstawili sto lat później Weaire i Phelan dostarczając architektom z pracowni PTW inspiracji dla projektu basenu olimpijskiego w Pekinie<sup>14</sup>.

Historyczne dokonania architektury czerpią z matematycznych metod reprezentacji przestrzeni, oraz wprost – z katalogu figur i przekształceń geometrycznych. Pozostaje nam rozważyć, czy współcześnie, w dobie komputeryzacji, w środowisku społeczeństwa opartego na wiedzy, pojawiły się czynniki stymulujące nowe koncepcje architektoniczne.

Zacznijmy od Bruno Zeviego, który podkreślał niedostatki warsztatu architektonicznego reprezentującego realne tworzywo przestrzenne w sposób niepełny, odbiegający od uwarunkowań rzeczywistego odbioru. Ubolewał nad znacznym ograniczeniem dostępności dzieła. Pismo i druk utrwaliły medium literatury, fotografia efektywnie przenosiła płaski obraz, zaś fonografia i radio – muzykę. Aby poznać budynek trzeba było odwiedzić go w sensie dosłownym, po wybudowaniu. Dziś, dzięki komputerom, przewyższamy na polu architektury granicę fizyczności wykonania. Do katalogu publikatorów artystycznej treści dopisujemy wirtualną rzeczywistość. Komputer gromadzi dane kształtujące panoramiczny obraz wokół obserwatora oraz dokonuje projekcji zgodnej z zachowaniem. Umie zapisać definicje kształtu, układ substancjalny oraz charakterystykę zachowań fizycznych takich jak grawitacja, bezwładność itp. Wszystkie informacje ulegają aktualizacji w czasie rzeczywistym zgodnie ze scenariuszem interakcji. System uporządkowania danych korzysta z trójwymiarowej skalowalnej osnowy.

Kontakt z rzeczywistością wirtualną dokonuje się za pomocą cyfrowych urządzeń: gogli (il. 5), pomieszczeń projekcji bezcieniowej – zwanych interfejsem. Zapewniają one koordynację wrażeń wzrokowych z ruchem ciała. Pozwalają dotknąć cyfrowych obiektów. Wkrótce zdolne będą do prze-



5. HMD (Head Mounted Display) – gogle ze sterowaną projekcją trójwymiarową stanowiące aparat dostępu do rzeczywistości wirtualnej, fot. J. Słyk

5. HMD (Head Mounted Display) – goggles with controlled three-dimensional projection – a tool for accessing virtual reality, photo J. Słyk

kazania informacji chemicznej, co pozwoliłoby symulować wrażenia węchowe i smakowe. Uczestnik wirtualnej eksploracji śledzony jest przez system skanujący, który z dużą dokładnością ustala położenie i ruch. Przekazuje informację do komputera, który odtwarza relację obserwator-model, a następnie dokonuje projekcji. Wszystko odbywa się zgodnie z modelem percepcji przestrzennej opisanym przez Gibsona<sup>15</sup> – w zagnieżdżonym, zunifikowanym systemie jednostek kartezjańskich.

Trzeba autokrytycznie przyznać, że komputerowe edytory architektoniczne, jakie znamy, nie są nowatorskie pod względem mechanizmów działania. Posługują się logiką analogii do deski kreślarskiej i narzędzi geometrii wykreślnej. Reprezentacji przestrzeni dokonują przez idealizację matematyczną -

<sup>11</sup> Ibidem, s. 63.

<sup>12</sup> B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, WH Freeman 1982, s. 4.

<sup>13</sup> G. Lynn, *Greg Lynn Form*, New York 2008, s. 50.

<sup>14</sup> J. Słyk, op.cit., s. 99.

<sup>15</sup> J.J. Gibson, *The ecological approach to visual perception*, Routledge 1986, s. 15.

definiowanie figur przestrzennych i przekształcenia geometryczne. Operacje logiczne na liczbach i ciągach znaków, będące naturalnym środowiskiem pracy maszyn liczących, dotyczą kartezjańskich współrzędnych. Pozwalają kodować znane konstrukcje i przekształcenia geometryczne. Opisany proces przebiega dość określną drogą. Przestrzenne wyobrażenie architekta trafia do komputera poprzez narzędzia operujące w dwóch wymiarach (ekran, mysz, tablet) – czyli informacja już wstępnie ulega przetworzeniu poprzez rzutowanie. Następne etapy to tłumaczenie definicji wprowadzanych figur na liczby reprezentujące lokalizacje (współrzędne) i charakterystyczne parametry (np. promień, długość itd.). Projekcja architektonicznego komunikatu na ekranie wymaga odwrócenia sekwencji, zaś wspomaganie prac projektowych – wielokrotnego, cyklicznego przetwarzania danych. W przypadku złożonych kształtów definicje ulegają znacznej komplikacji, przez co ich obróbka staje się utrudniona. Ewolucja technologii CAD (Computer Aided Design) polega w najogólniejszym sensie na parametryzacji, co w rozumieniu Michaela Mereditha oznacza ograniczenie ilości zmiennych przy równoczesnym zwiększeniu ich zmienności osiąganym dzięki zdolności transformacji<sup>16</sup>. Parametryzacja w architektonicznych zastosowaniach CAD dotyczy zarówno procesów organizacji prac, automatyzacji, wizualizacji, jak i podstawowych definicji geometrycznych.

Aby skrótkowo przybliżyć ten mechanizm, posłużę się przykładem wynalazku z dziedziny modelowania krzywizn. Kształty dominujące w naturze, stanowiące jedną z głównych inspiracji architektury, umykają opisowi za pomocą standardowych narzędzi geometrii, takich jak linia i cyrkiel. Gromadzenie kolejnych współrzędnych punktów wyznaczających krzywą prowadzi do tworzenia gigantycznych zbiorów. Opis za pomocą funkcji wielomianowej pozwala skondensować informację, jednak i tu napotkamy trudność. Projektowanie polega przecież na ciągłym przekształcaniu, szukaniu najodpowiedniejszej formy. Stuprocentowa kartezjańska dokładność definicji nie jest warunkiem osiągnięcia celu. Potrzeba plastycznego materiału – cyfrowej gliny, łatwej w obróbce i poddającej się intuicyjnym gestom.

Pomoc w ujarzmieniu krzywizn nadeszła z obszaru gdzie stanowią one główne tworzywo inżynierskie, czyli wzornictwa, przemysłu lotniczego i samochodowego. Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych dwudziestego wieku dwaj inżynierowie francuscy: Pierre Bezier (pracujący dla Renault) i Paul de Casteljau (Citroen) doszli równolegle do koncepcji parametrycznego definiowania krzywych. Ze względu na wcześniejszą publikację osiągnięć, pierwszy z nich zapisał się w historii CAD jako twórca tzw. krzywych Bezierra – linii, których geometria definiowana jest za pomocą punktów kontrolnych. Francuski wynalazek stworzył warunki dla gwałtownego rozwoju technologii komputerowego modelowania, a przede wszystkim stał się podstawą koncepcji NURBS.

Non-Uniform Rational B-Splines pozwalają w prosty, a przede wszystkim intuicyjny sposób modelować złożone kształty. Swoboda operowania „brzegiem” powierzchni oraz jej profilami ułatwia dopasowywanie kształtów, wypełnianie przestrzeni wcześniej zdefiniowanych, operacje algebry oraz przekształcenia topologiczne. Stosowanie NURBS w środowisku CAD polega na dostosowywaniu kształtu poprzez operowanie punktami kontrolnymi. Do dyspozycji mamy węzły, punkty kontrolne oraz wagi punktów kontrolnych. Nierównomiernie (*non-uniform*) rozłożone węzły dzielą krzywą na odcinki. W każdym z nich zmienić można normalną (poprzez kierunek wektora w węźle) oraz zakrzywienie (poprzez wartość wektora). W zależności od potrzeb krzywa zachowuje kontynuację geometryczną i parametryczną odpowiedniego stopnia. Gdy kierunek wektora normalnej jest zgodny, po obu stronach krzywizna przechodzi przez węzeł gładko – tak jak w karoseriach samochodów. Jeśli dodatkowo zachowana jest wielkość wektora – kontynuacja dotyczy również dynamiki zakrzywienia<sup>17</sup>.

Chociaż bardzo elastyczne i sprawne, konstrukcje NURBS są wciąż definicjami geometrycznymi tworzonymi w duchu aksjomatycznym. Powstają w drodze dzielenia obserwowanych kształtów na fragmenty poddające się opisowi według jednej z dostępnych procedur. Chociaż granice te w istocie nie istnieją, można podzielić kwiat na łodygę kształtowaną za pomocą powierzchni wiążącej kolejne przekroje

<sup>16</sup> D.F. Rogers, *An Introduction to NURBS with Historical Perspective*, San Diego 2001, s. XV.

<sup>17</sup> Ibidem s. 12.



(Loft NURBS), kwiatostan syntetyzowany za pomocą elipsoidalnych, giętych wzdłuż dwóch prostopadłych profili (Spline) płatków, mnożonych algorytmem obracania kopii wokół punktu itd. Czy przełom informacyjny tworzy warunki do rozwoju bardziej bezpośrednich reprezentacji?

Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku William Mitchell zapisał refleksje pochodzące z harvardzkich seminariów w książce, której tytuł sugeruje przełom<sup>18</sup>. Rzecz dotyczy cyfrowej fotografii, a właściwie cyfrowego obrazowania i skutków, jakie ten wynalazek przynosi ludzkiej technice reprezentacji świata. Sugestywna wizja Karla Friedricha Schinkla, przedstawiająca narodziny rysunku, określa genzę i naturę „analogowego” wyobrażania. Naturalny wzór profilu twarzy, przeniesiony na powierzchnię dzięki fizycznemu zjawisku światła i cienia, syntetyzowany jest pociągnięciem węgla.

Znaczenie perspektywicznego rzutowania dla warsztatu malarskiego jest jasne co najmniej od czasu przedstawienia publiczności fresku Masaccia w kaplicy florenckiego kościoła Santa Maria Novella. Nie chodzi tu jednak wyłącznie o sprawy warsztatowe. Piero della Francesca malując „Biczowanie” nie skupiał się przecież na fotograficznej rekonstrukcji. Obraz, o którym pisze Łysiak używając słów „król gier perspektywicznych włoskiego malarstwa”<sup>19</sup>, jest w istocie dziełem symbolicznym, aby nie powiedzieć – nadrealistycznym. Rekonstruowana do ponad osiemdziesięciu metrów głębokości przestrzeń pretorium Piłata i placu mieści wiele ukrytych znaczeń. Informacje dotyczące symboliki liczb, interpretacji sceny biblijnej, faktów z życia florenckiego mecenasa artysty zanurzono w osnowie precyzyjnej projekcji geometrycznej. Warto zwrócić uwagę, że „baza danych” Piera, zakodowana została w „Biczowaniu” przy użyciu kategorii geometrycznych. „Rekordy” nie przynależą do postaci, elementów tła czy nawet lokalizacji w kadrze. Organizacją rządzi perspektywa, czyli abstrakcyjny model reprezentacji, którego reguły wywodzą się wprost od Euklidesa i który odczytać można dzięki kluczowi ukrytemu w czarnym pasku nad głową mężczyzny w greckiej szacie<sup>20</sup>. (il. 6)

Pociągnięcie pędzla jest w historii malarstwa więcej niż manualną techniką naniesienia farby. Odzwierciedla świadomość geometryczną, a od renesansu również perspektywiczną. Choć linie, elipsy i kręgi nie występują w naturze – używamy ich do zapisania ulotnych wrażeń zmysłowych. Pewność malarskich zasad nadważył postimpresjonistyczny pointyizm, jednak i tu mamy do czynienia raczej z „efektem” nałożonym na staranie wykreślony podrys, niż z alternatywną techniką reprezentacji. Pominę w tym miejscu oddziaływanie dwudziestowiecznych nurtów sztuki dalekich od realizmu jako mniej istotne dla zagadnień architektonicznych. Zwrócę jednak uwagę, że istota pozostaje niezmienna. Dla wyrażenia treści symbolicznej, kubistycznej, surrealistycznej, pop-artowej używaliśmy wciąż instrumentarium geometrii klasycznej. Czasem w tak ostentacyjny sposób, jak Salvador Dali malujący Ukrzyżowanego w scenografii hipersześcianu Manninga. Przejście do obrazu cyfrowego<sup>21</sup> jest istotną zmianą technik reprezentacji. Zamiast ciągłej, jak funkcja kreski, używamy mozaiki pikseli wypełniającej pole nieciągłą sekwencją możliwych stanów. Cechy obrazu cyfrowego znacząco odróżniają go od obrazu klasycznego (malarskiego, fotograficznego). Przede wszystkim – przez odejście od metod geometrycznych. Matryca pikseli nie koduje za pomocą aksjomatycznych obiektów i reguł. Posługuje się uporządkowaną statystyką – mierzy i zapamiętuje stan elementarnych składników.

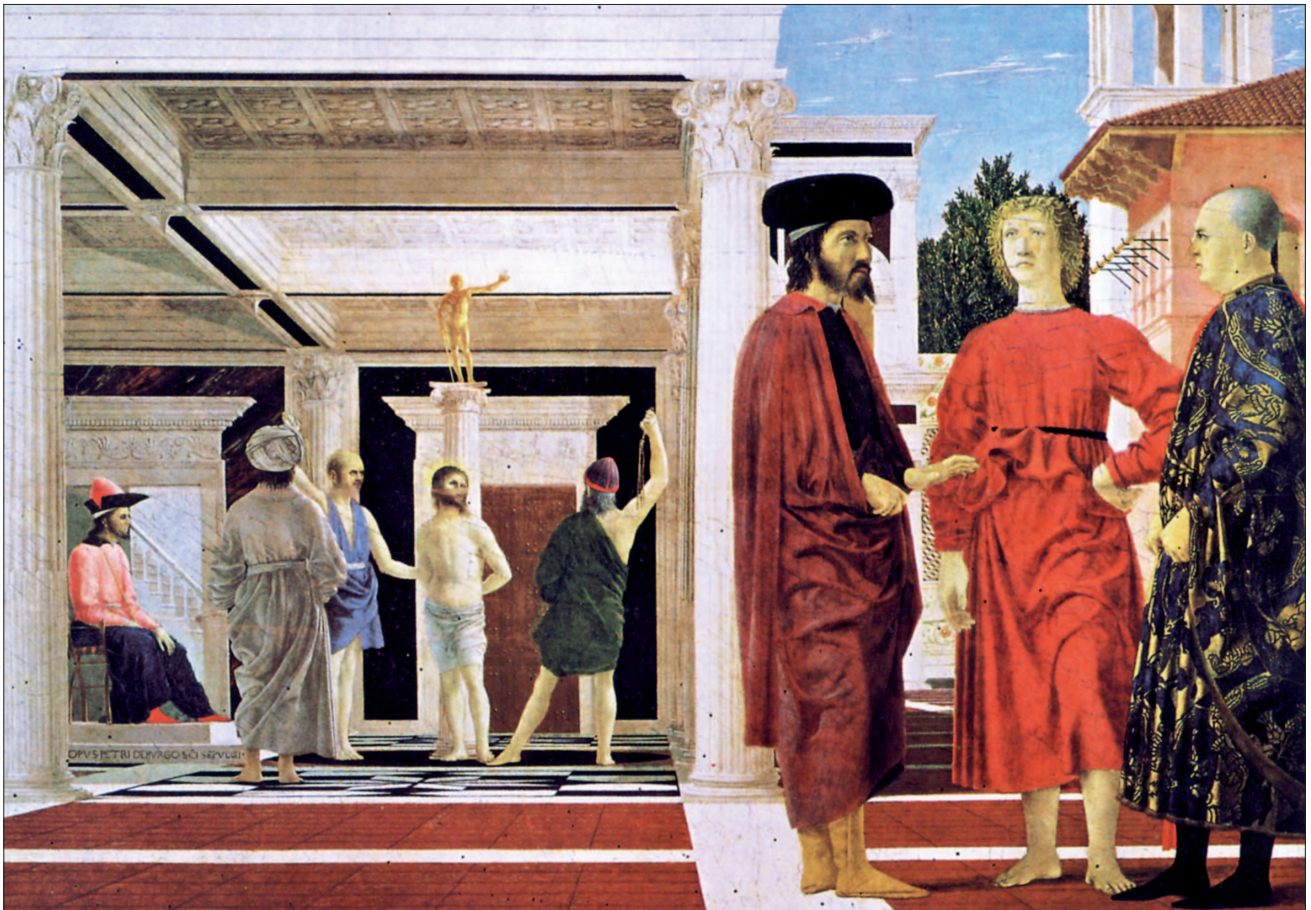
Przyjrzyjmy się teraz, jakie skutki przynosi zastosowanie cyfrowego obrazu na poziomie użytkowym. Aby zrozumieć treść przekazu della Franceski, trzeba posiadać zdolność odczytania zawartych w nim znaczeń. Ponieważ autor użył do kodowania narzędzi geometrycznych – odbiorca również musi się w nie wyposażać. Zgodnie z euklidesową regułą – skalowanie nie przyniesie zmiany wewnętrznych zależności a co za tym idzie – treści. Możemy popatrzeć z daleka i z bliska, mózg i tak wyłowi prawidłowości wynikające z układu linii. Obraz cyfrowy powstaje wprost – jako skan rzeczywistości, rzutowanie czy eksport modelu komputerowego. Nie zawiera intencjonalnych informacji geometrycznych. Jego pro-

<sup>18</sup> W.J. Mitchell, *The Reconfigured Eye. Visual truth in the Post-Photographic Era*, MIT Press 1992.

<sup>19</sup> W. Łysiak, *Malarstwo białego człowieka*, Tom 2, Warszawa 1997, s. 40.

<sup>20</sup> Ibidem, s. 41.

<sup>21</sup> Mitchell wskazuje ten punkt w połowie lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku – w chwili wynalezienia przez R.A. Kirscha urządzenia skanującego obraz poprzez bębnowy sensor o rozdzielczości 176x176 punktów zdolny przekazywać informację do komputera.



6. Piero della Francesca, *Biczowanie Chrystusa*; 1453/70, oryg. w galerii Nazionale della Marche, Urbino, Palazzo Ducale  
 6. Piero della Francesca, *Flagellation of Christ*; 1453/70, orig. in the Galleria Nazionale della Marche, Urbino, Palazzo Ducale

jekcja na ekranie i wydruk może wyglądać podobnie jak tradycyjna fotografia, jednak struktura zapisu pozostaje wyłącznie bazą (rozłącznie traktowanych) danych. Jeśli popatrzymy na świat jako układ atomów, obraz cyfrowy jest jego uproszczonym, płaskim zapisem. Dokładność zależy od rozdzielczości – fundamentalnej charakterystyki nowego medium. Rozdzielczość może być stała lub zmienna, zależna od pozycji w granicach rejestracji. Zawsze jednak tworzy podstawową osnowę, do której dopisywane są kolejne informacje takie jak jasność, kolor (w odpowiedniej głębi) i inne. Analiza obrazu cyfrowego, jego ocena i interpretacja posługuje się nowymi narzędziami, których funkcje wynikają z przedstawionej charakterystyki. Każdy z nas, posługując się cyfrowym aparatem, korzysta z histogramów zdjęć. Histogram dostarcza graficznej informacji na temat rozkładu pewnej cechy pikseli (najczęściej jasności w odpowiednich kanałach). Jest statystycznym wykresem – przekrojem przez bazę danych. Wprawny fotograf może na tej podstawie ocenić ekspozycję, równowagę barw, a nawet kompozycję.

Rozważania o naturze obrazu są nam potrzebne by przejść do problemu, który w chwili powstania książki Mitchella nie był jeszcze znany, a dziś – rysuje perspektywę nowej koncepcji środowiska CAD. Przeniesieniem piksela do rzeczywistości trójwymiarowej jest piksel wolumetryczny lub inaczej – voxel. Podobnie jak płaski odpowiednik, notuje podstawową porcję informacji o przestrzeni. Poza usytuowaniem i „objętością”, będącą skutkiem przyjętej rozdzielczości, może być nośnikiem innych danych. Przypisanie parametrów opisujących przezroczystość, jasność i kolor pozwalają zbudować z voxelowego tworzywa przestrzenny obraz. Można w nim zawrzeć dodatkowe archiwa, zapis procesu detekcji, a nawet charakterystyki cech fizycznych materiału (ciężar, elastyczność itp.). Voxelowe obrazy wykorzystywane są w aplikacjach medycznych – głównie diagnostyce obrazowej i protetyce, w grafice komputerowej oraz w specjalistycznych technologiach badawczych. Ograniczenia wynikają z trudności operowania znacznymi porcjami danych, które są skutkiem przyjętej metody zapisu.

Stosując przywołane wcześniej kryteria Meredith, ustalimy, że stopień parametryzacji informacji zawartej w obrazie voxelowym jest niski. Utrudnia to tworzenie narzędzi inżynierskich przeznaczonych do manipulacji obiektami przestrzennymi oraz przypisanymi do nich właściwościami. Przypomnijmy, że w latach osiemdziesiątych wczytywanie zdjęć cyfrowych również stawiało maszynom liczącym wyzwanie. Grafika komputerowa w dzisiejszym rozumieniu pojawiła się wraz ze zwiększeniem mocy obliczeniowej, a jej udoskonalanie wymagało pracy zarówno w obszarze sprzętowym, jak i programistycznym. Stosując analogię do tych zjawisk możemy, jak sądzę, oczekiwać „wolumetrycznego przełomu”. Cóż bowiem ogranicza możliwość wynalezienia algorytmów kompresji podobnych do procedur, znanych z płaskich obrazów. Możemy stosować metodę upraszczania w sektorach (poprzez zastosowanie reguł sąsiedztwa, jak w formacie jpg). Możemy również manipulować rozdzielczością, uwarunkowując stopień zagęszczenia od treści informacji (podobnie jak w kompresji lzw). Jeśli nowa technologia stanie się powszechna – uzyskamy dostęp do nowych narzędzi rejestracyjnych, konstrukcyjnych i analitycznych. Rzeczywista przestrzeń skanowana będzie przestrzennie, być może za pomocą robotów eksploracyjnych wypełniających kryteria percepcji opisane przez Gibsona. Do obróbki plików użyjemy „SculptureShopa” lub narzędzia renderującego wolumetrycznie zdefiniowane kształty. Dla statystycznej oceny efektu wykorzystamy trójwymiarowy histogram.

Pozostaje jedno ograniczenie. Musimy przezwyciężyć barierę, jaką stawiają rzeźbiarskiej intuicji niedoskonałe urządzenia wprowadzania i projekcji danych. Nie będę tu przywoływał historii myszy komputerowej. Dość stwierdzić, że utajniona technologia militarna powróciła, dzięki wynalazkom firmy Xerox, na pole powszechnej komputeryzacji w formie bardzo prymitywnej. Służyła wyłącznie do określenia (względego) położenia punktu na ekranie. Współczesne myszy, tablety, klawiatury nie odeszły od pierwotnej koncepcji i hierarchii danych. Przekazują: 1. komunikat werbalny, 2. położenie (na płaskim ekranie), 3. ewentualne dodatkowe informacje związane z gestem dłoni (siła, prędkość pociągnięcia itp.) W tej konwencji mo-

delowanie, będące jedną z podstawowych metod architektury, wymaga co najmniej kilkakrotnego kodowania informacji (przestrzeń > płaszczyzna > komunikat binarny > płaszczyzna > przestrzeń). Możliwość zwiększenia efektywności modelowania komputerowego pojawia się wraz z zastosowaniem urządzeń, które w bardziej bezpośredni sposób otwierają dostęp do sygnałów przekazywanych ludzkim zmysłom. Są to przede wszystkim urządzenia zapewniające pełny lub częściowy dostęp do wirtualnej rzeczywistości.

Rynek gier komputerowych, będący podstawowym polem wirtualnej eksploracji, od początku istnienia tworzył alternatywne urządzenia interfejsu. Kopiując wynalazki istniejące w świecie rzeczywistym posługiwał się joystickami (stanowiącymi odpowiedniki drążka sterowego), kierownicami (analogicznymi do samochodowych). W kolejnym kroku – docierał do gestów ludzkich poprzez sensory ruchu i położenia. Tak powstały rękawice PowerGlove oraz piloty Wii i PlayStation Move. Dziś dążymy do rozpoznawania intencji użytkownika bez jakichkolwiek widocznych i obciążających ciało urządzeń. Gestami palców sterujemy nawigacją dotykowych ekranów. Eksplorujemy przestrzenne projekcje śledzeni przez czujniki Kinect. Konstruowane aparaty interfejsu nie są doskonałe. Zapewniają dokładność wskazań wystarczającą dla gier lub obsługi smartfona. Rzeczywistość inżynierska wymaga urządzeń bardziej precyzyjnych.

Haptyczne manipulatory przestrzenne (*3D phantom*) zostały wynalezione w przemyśle lotniczym. Opracowano tam technologię, pozwalającą przekazywać drogą elektroniczną, sygnały ruchowe z oddalonych części samolotu. Dziś fantomy produkowane są w formie samodzielnej jako zaawansowane, komputerowe urządzenia wskazujące. Manipulator haptyczny<sup>22</sup> składa się z „pióra”, przestrzennego pantografu zapewniającego swobodę ruchu w trzech płaszczyznach i głowicy sterującej. Przemieszczenia pióra rejestrowane są dzięki pomiarowi ruchu przegubów i przekazywane do komputera jako informacja o położeniu w przestrzeni. Sygnały przebiegające w odwrotnym kierunku zapewniają opór urządzenia (*force feedback*), który realizują siłowniki blokujące przemieszczenia w określonych przez program kierunkach i lokalizacjach.

---

<sup>22</sup> Najpowszechniej stosowane są urządzenia firmy Sensable o nazwie towarowej Phantom 3D, która utożsamiana bywa z całą klasą sprzętu tego typu.



7. Phantom 3D – haptyczny manipulator pozwalający rzeźbić w voxelowej glinie wraz z projektorem obrazu trójwymiarowego, fot. J. Słyk  
 7. Phantom 3D – haptic manipulator allows for sculpting in voxel clay with a projector of three dimensional images, photo J. Słyk

Phantom 3D współpracujący z oprogramowaniem do modelowania (np. ClayTools) pozwala definiować geometrię w sposób do złudzenia symulujący fizyczne rzeźbienie. Zamiast określać abstrakcyjne figury geometryczne (punkty, linie, powierzchnie) decydujemy o zaistnieniu obiektu w wybranym rejonie. Przestrzeń pracy *phantoma* zbudowana jest według koncepcji voxelowej. Malując cyfrowo (np. w programie Photoshop) nadajemy punktom obrazu znaczenie graficzne (jasność, kolor). Rzeźbiąc manipulatorem – zapełniamy *voxele* wirtualną gliną. Przy użyciu odpowiedniego narzędzia tworzymy wyjściową bryłę, a następnie modelujemy poprzez cięcie, ugniatanie, nadmuchiwanie, wygładzanie, sklejanie itd. Efekty obserwować można na ekranie lub lepiej – monitorze z projekcją trójwymiarową. Poruszanie obiektem, chwytanie, zmiana kształtu odbywa się w prawdziwie przestrzennym środowisku. Możemy dotknąć powierzchni oddalonej lub bliskiej. (il. 7) Materiał stawia opór zależny od zadanych parametrów wyjściowych i rodzaju wybranego narzędzia. Mimo intuicyjnej formy kontaktu z komputerem, tworzony model ma charakter parametryczny. Oprogramowanie przetwarza decyzje użytkownika przekazywane manipulatorem do formy cyfrowej. W każdej chwili można modelowany obiekt zapisać, eksportować lub wydrukować maszyną do cy-

frowej fabrykacji. Co więcej, osadzone w nowym instrumentarium narzędzia, pozwalają korzystać z funkcjonalności będącej cechą specyficzną medium cyfrowego. Wszystkie wykonywane czynności można włączać w ciąg algorytmiczny, przez co projektowanie uzyskuje cechy programowania. Aby wyjaśnić specyfikę procesu – przeanalizujemy sposób modelowania kolumnady. Kapitele o złożonym kształcie wymagać będą wyrzeźbienia. Zrobimy to za pomocą manipulatora haptycznego wyświetlając trójwymiarowy podrys. Aby pracę przyspieszyć, zaprogramujemy wstępnie dwukrotną symetrię. Komputer wyświetli płaszczyznę symetrii i w czasie rzeczywistym trzykrotnie powieli voxelowy model części tworzonej „ręcznie”. Podobnej parametryzacji poddamy rozstawienie odpowiedniej ilości kolumn, utworzenie trzonu według fragmentarycznie ustalonego profilu itd. Każdej czynności intuicyjnej nadać możemy ograniczenia wynikające z parametrycznej definicji materiału i cech obróbki. Środowisko pracy staje się w opisanych warunkach kompozytem bezpośredniej, kontrolowanej zmysłowo, ingerencji twórczej oraz intelektualnie przygotowanej instrukcji o strukturze algorytmu.

Wirtualna przestrzeń zbudowana z voxelów, której składniki programujemy, to więcej niż środowisko gier komputerowych. Cyfrowa reprezentacja,



8. Kompozytowa przestrzeń ekspozycji: rzeczywiste eksponaty, skojarzona z lokalizacją baza wiedzy udostępniana użytkownikom poprzez komputerowo sterowane słuchawki oraz medialny sufit z ruchomą projekcją nieba; Muzeum Mercedes Benz w Stuttgarcie, proj. UN Studio, fot. J. Słyk

8. Composite space of exposition: real exhibits, the knowledge base, linked with the locality, is made available to users through computer-controlled headphones and a media ceiling with mobile projection of the sky; Mercedes Benz Museum in Stuttgart, project by UN Studio, photo J. Słyk

opisana przez Mitchella<sup>23</sup> zapewniła architekturze pierwszy w historii skuteczny aparat przekazu. Być może przeniosła ją do grona uprzywilejowanych sztuk jednostopniowych<sup>24</sup>, gdzie efekt dostępny jest natychmiast – w chwili aktu twórczego. Nowa metoda otworzyła nowe możliwości. Z jednej strony udostępniła poligon do prób, z drugiej – alternatywne środowisko kreacji architektonicznej. Przestrzeń architektoniczna reprezentowana jest dziś przy pomocy medium cyfrowego, przez co uzyskuje cechy, które wypunktował Manovich<sup>25</sup>. Jej numeryczna struktura, modularność i automatyczność wynikają wprost z binarnej formy danych. Przynoszą istotne zmiany w instrumentarium warsztatowym i zwiększają wydajność prac. Zdolność transkodowania i wariacyjność to już cechy specyficzne, otwierające przed sztuką kształtowania (informacyjnej) przestrzeni nowe możliwości. Percepcja przestała być funkcją eksploracji. Chwilowe stany zmieniają się dynamicznie, zależnie od zmierzonych w otoczeniu

parametrów i życzeń użytkownika, czyli w wyniku interakcji. Kształtowanie zmiennego otoczenia wymaga użycia narzędzi programistycznych. Nie jest już kreowaniem docelowych stanów, lecz reguł ich zmienności. Granice między rzeczywistością realną, wirtualną i informacyjną ulegają zatarcu dzięki swobodnemu tłumaczeniu, natychmiastowemu przesyłaniu na odległość oraz dostarczaniu zmysłom sygnałów tworzonych przez niezauważalne, cyfrowo sterowane, przenośne aparaty. Stopień cyfrowej reprezentacji modelu komputerowego, jego projekcji, rzeczywistych materiałów, cyfrowej produkcji oraz sensorów, urządzeń komunikacyjnych i mechanizmów sterowanych komputerowo, pozwala mówić o ciągłym, przestrzennym środowisku informacyjnym, tworzącym medium. (il. 8)

Jan Słyk, dr hab. inż. arch., adiunkt  
Katedra Projektowania Architektonicznego  
Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej

<sup>23</sup> W.J. Mitchell, *Antitectonics: The Poetics of Virtuality*, [w:] *The Virtual Dimension: Architecture, Representation, and Crash Culture*, (red.) J. Beckmann, New York 1998, s. 204.

<sup>24</sup> W.J. Mitchell, *The Reconfigured Eye...*, op.cit., s. 50.

<sup>25</sup> L. Manovich, *Język nowych mediów*, Warszawa 2006, s. 91.