

## Powierzchnia w projektowaniu cyfrowym Surface in digital design

Krystyna Januszkiewicz  
WA Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe: architektura,

**Keywords:** architecture, curvilinear forms

### Streszczenie

Nowa rola powierzchni w projektowaniu cyfrowym poprowadzi do zmian konceptualnych w architekturze. Nową architekturę wyłaniająca się z cyfrowej rewolucji technologicznej cechują krzywoliniowe formy o wysokim stopniu złożoności. Formy te cechuje inny niż dotąd język formalny, tektonika i materiałowość. Są to formy swobodne, które informują najpierw o sposobie modelowania ich powierzchni, która determinuje przestrzeń potrzebną dla funkcji użytkowej. Tworzenie takich form polega najpierw na modelowaniu ich powierzchni, która wyznacza przestrzeń dla zawartości użytkowej. Taka zmiana podejścia konceptualnego niejako zmusza do namysłu czym są powierzchnie, które nas otaczają i jaką była rola powierzchni w tradycji architektonicznej, często utożsamiana z dekoracją. W epoce technologii cyfrowych powierzchnia jest traktowana jako rodzaj skóry, pod która ukrywa się zawartość funkcjonalna budowli. Powierzchnia przedstawiana jest w aspekcie filozofii i praktyki architektury. Objaśniane są strategie projektowe, które mogą być stosowane w celu materializacji powierzchni cyfrowych przy wykorzystaniu narzędzi CAD/CAM. Strategie te poparte zostały przykładami zrealizowanych obiektów architektonicznych.

### Abstract

A new role of the surface in digital design leads to conceptual changes in architecture. The new architecture emerging from the digital technological revolution is expressed in curvilinear forms with a high degree of complexity. These forms are characterized by a formal language, which is different from the one so far, tectonics and materiality. These are free forms, whose formation is firstly based on the modeling of their surface, which determines the space for a usable content. Such a change in the approach creates a need for a reflection on what the surfaces that surround us *de facto* are, and what the role of the surface in architectural tradition, often identified with the decoration, was. In the era of digital technology, the surface is treated as a skin, under which the functional content of the building is hidden. Several strategies of geometrizing the surface were presented, in order to allow for its materialization in the real space of CAD/CAM. These strategies were supported by examples of completed architectural objects.

Powierzchnia, jako dwuwymiarowy odpowiednik krzywej, nigdy przedtem nie odgrywała roli konceptualnej w projektowaniu architektury. Dopiero w latach 90. XX w. rozwój grafiki komputerowej i narzędzi projektowania uczynił powierzchnię wyznacznikiem przestrzennym architektury. Łatwo dostępne modelery powierzchni swobodnych (free surface) ułatwiły modelowanie form, które niegdyś były trudne, a nawet niemożliwe do narysowania. Nowa architektura, wyłaniająca się z cyfrowej rewolucji technologicznej znajduje zatem ekspresję w krzywoliniowych formach o wysokim stopniu złożoności. Formy te cechuje inny niż dotąd język formalny, tektonika i materiałowość. Tworzenie takich form polega najpierw na modelowaniu ich powierzchni, która wyznacza przestrzeń dla zawartości użytkowej. Uwaga koncentruje już nie korelacji formy i funkcji lecz na rozpatrywaniu skutków działania wielu różnych procesów informatycznych kształtujących formę pod względem jej zachowań i współpracy ze środowiskiem. Powierzchnia zaś jest tu najważniejszym interfejsem, przyrównywana często do skóry, która reaguje na czynniki zewnętrzne i wewnętrzne.

Proces projektowania, w którym najpierw powstaje powierzchnia wyznaczająca objętość czyli przestrzeń dla funkcji jest praktykowany w przemyśle samochodowym, lotniczym i okrętowym. W projektowaniu architektury jest tylko konsekwencją logiki działania narzędzi cyfrowych, tych które powstały najpierw, aby ułatwiać pracę projektantów we wspomnianych gałęziach przemysłu. W architekturze jest to zatem koncepcja nowa i stanowi odejście od ustalonego prymatu logiki konstrukcji i funkcji. Niekiedy można uzyskać w ten sposób innowacyjne formy i nowe jakości przestrzenne. Nie-

mniej jednak należy zdawać sobie sprawę, że technologia ta jest tylko ekstensją dobrze wypróbowanego i ustalonego procesu projektowego gdzie indziej.

W architekturze projektowanej w przestrzeniach cyfrowych powierzchnia staje się, z konieczności, akcentowana przez logikę narzędzi bazujących na NURBS. Często odrzucana jest geometria Descartesesa i konwencjonalny język geometrii euklidesowej. Zastępuje to nowy język, zwany „morficzny”, mówiący o ciągłych substancjach i płynach. Architektura nie musi już być statyczna, lecz powinna znajdować się gdzieś między organizacją a strukturą, informacją a formą, diagramem a materiałem, stając się przez to nieuformowaną, niedopowiedziana do końca<sup>1</sup>.

Powierzchnie ciągłe – modelowane w geometriach nieeuklidesowych, jak butelki Kleina i wstęga Möbiusa – zacierają granicę między stroną zewnętrzną i wewnętrzną. Coraz częściej projektuje się architekturę ta samo jak okręty, samochody czy samoloty. Albo też podejmowane są eksperymenty z przekształcaniem budowli w jedną (hyper) strukturę.

Złożone geometrycznie opakowania w projektach nowej awangardy cyfrowej skłaniają do ponownego namysłu nad tym, czym jest powierzchnia, jaka może być jej geometria, tektonika i substancja, a także jej wrażliwość na warunki środowiskowe.

### Czym jest powierzchnia

W matematyce powierzchnia to dwuwymiarowy odpowiednik krzywej. Einstein dowiódł, że w przestrzeni zakrzywionej, właśnie krzywa wyznacza najkrótszą odległość między dwoma punktami. Dla Descartesesa powierzchnia jest granicą ciał otaczanego i otaczającego<sup>2</sup>. W fizyce terminem powierzchnia swobodna określa się powierzchnię styku cieczy z próżnią lub płynem (gazem lub cieczą). Kształt, jaki przyjmuje, zależy od sił działających na granicy cieczy.

W przyrodzie powierzchnią swobodną jest górna powierzchnia cieczy w naczyniu, powierzchnia jezior, rzek i oceanów, a także powierzchnia kropli, bańki czy strumienia cieczy w gazie. W jednorodnym polu grawitacyjnym powierzchnia jest płaska i prostopadła do wektora siły ciężkości. Można uznać, że dotyczy to powierzchni znacznie mniejszych od rozmiarów Ziemi. Gdy nie można pominąć kulistości Ziemi, powierzchnia swobodna jest geoidą i może być w przybliżeniu uważana za sferę lub dokładniej elipsoidę. Leonardo da Vinci (1452–1519), obserwując zjawiska w przyrodzie, zauważa, że to co oddziela atmosferę od wody, z konieczności powinno być wspólną granicą, która nie jest ani powietrzem, ani wodą i nie ma substancji, gdyż to, co znajduje się między tymi ośrodkami zapobiega ich kontaktowi i nie należy ani do wody, ani do powietrza. Powierzchnia jest dla niego wspólną granicą dwóch ciał, które nie są ciągłe i nie jest częścią ani jednego, ani drugiego ciała, lecz tylko oddziela je nicość<sup>3</sup>. Powierzchnia jest tu rozumiana jako interfejs, wspólna granica, niepodzielna, która nie przynależy do tego, z czym jest w kontakcie. Powierzchnia da Vinci jest teoretycznym bytem albo między różnymi rzeczami, albo jakąś rzeczą a niczym. Jak asteroida w przestrzeni, którą od próżni oddzielają ją krawędzie zewnętrzne.

Wśród nielicznych opracowań zwracają uwagę rozważania Avruma Strolla z zakresu antropologii języka<sup>4</sup>. Odnajduje w języku słowa takie, jak skraj, limit, granica, krawędź, żeby wskazać podobieństwa i różnice oraz ich znaczenie w określaniu powierzchni. Dyskurs prowadzony jest na wielu poziomach i często powraca do topografii języka zwykłej mowy, a także geometrii i matematyki. Stroll otwiera go pytaniem o ciągłość powierzchni kostki do gry czy w jej powierzchni są dziury, czy tylko otwarcia, czy mają one własną powierzchnię, czy krawędź może być powierzchnią. Jeśli pełna szklana kulka ma rysy, to czy one znajdują się na, czy w powierzchni. Albo czym jest powierzchnia wody w jeziorze, jeśli jest pomarszczona od wiatru, to jak głęboko. Przykłady z życia codziennego są pretekstem, aby rozpatrywać problemy percepcji w dyskusji o definiowaniu i postrzeganiu powierzchni. Stroll, rozpatrując abstrakcyjne i fizyczne pojęcia powierzchni, nie nadaje przywilejów ani powierzchni, ani temu, co jest pod nią – są one po prostu częściami niehomogenicznego bytu. Jednakże czyni rozróżnienie między jednolitymi przedmiotami, których powierzchnia jest tym samym co materiał w

<sup>1</sup> L. Spuybroek, *The Structure of Experience*, w: Cynthia C. Davidson, Any More (red.) Cambridge MA, The MIT Press, 2000, 169, 172.

<sup>2</sup> Por. Rene Descartes, *Zasady filozofii*, Wyd. Antyk, Kęty, 2001, 60–61.

<sup>3</sup> Leonardo da Vinci, *Notatniki*, 1938, 75–76.

<sup>4</sup> Patrz: A. Stroll, *Surfaces*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1988, także: M. Taylor, *Surface-Talk*, AD, Vol. 73, No. 2, 2003, 30–35.

ich wnętrzu, a takimi, których materiał wewnątrz jest różny od ich płaszcza zewnętrznego. Podając przykłady, takie jak stalowe czy marmurowe kule, sięga po obiekt bardziej złożony, jakim jest kula ziemiska. Odkrywa ponownie lasy i jeziora, wszystko to, co naturalne, a wyznacza powierzchnię Ziemi, by uzasadnić, że warstwą zewnętrzną może być powłoka dla miękkiego lub płynnego wnętrza, albo miękka warstwa zewnętrzna otaczająca twardego substrat wewnątrz. Jednak w żadnym przypadku substrat i powierzchnia nie stanowią dla siebie wzajemnego podparcia. Stroll, próbując odpowiedzieć na pytanie czym są powierzchnie, analizuje także ich grubość i zastanawia się jak głęboko może znajdować się substrat. Odnosi się także do powierzchni, która, sama przez się, przynależy do bytu jej przynależnego. Granica, która znajduje się na wierzchu, jest conceptualnym ograniczeniem. Może być pojmowana jako rodzaj transparentnej błony oddzielającej substrat od ośrodka otaczającego, jak w rozumieniu da Vinci<sup>5</sup>.

Abstrakcyjnym koncepcjom Strolla przeciwstawia się koncepcję powierzchni jako bytu fizycznego. Chodzi tu o wyniki badań Gabora A. Somorjai z lat 80. XX w. nad budową powierzchni na poziomie atomowym<sup>6</sup>. Wtedy po raz pierwszy człowiek zobaczył w ogromnym powiększeniu to, co buduje Natura w skali mikro. Dokonując katalizy cząsteczek węgla w warunkach próżniowych, naukowiec odkrył właściwości powierzchni jako bytu fizycznego. Mimo że jest ona aktywna, to jest podzielna i przypomina konfiguracje terenu z występami, tarasami, supłami. Niekiedy, mówi Somorjai, powierzchnia cząsteczek wygląda jakby była pokryta kawałkami szkła, jakby wystawały z niej proste i pozaginane pręty, innym razem jest bardziej kosmata, lecz nigdy nie jest jednorodna.

Z badań nad powierzchnią wynika, że czynią ją atomy zaabsorbowane na powierzchni ciała stałego i takie, które są w trakcie tego procesu. Powierzchnie te mogą być niezwykle cienką fizyczną warstwą materii na zewnątrz lub wewnątrz jakiegoś przedmiotu. Ten rodzaj otoczki jest wyraźnie zaznaczony i może być usuwany. W niektórych przypadkach powierzchnia działa jak płaszcz, ograniczając jednorodny materiał, taki jak kamień, szkło, żelazo. Mogą być to cienkie warstwy farby, które można usunąć, by odsłonić pierwotną powierzchnię; można też maskować inne substraty albo jak w piłce do golfa, gdzie bardziej złożone wnętrze wymaga specjalnego okrycia.

Powierzchnie, które nas otaczają nigdy nie są w rzeczywistości gładkimi powierzchniami geometrycznymi, tylko ich „chropowatą” kopią. To że niekiedy tego nie widzimy, wynika z dystansu, z jakiego na nie patrzymy, czyli ze skali. Wiele interfejsów (powierzchni wzajemnego oddziaływania) i innych powierzchni ma właściwości fraktalne lub im pokrewne. Składają się z samopodobnych obiektów geometrycznych lub odwzorowań afinicznych. Oznacza to, że przy zmianie skali obiekty samopodobne są izotropowe (takie same we wszystkich kierunkach), obiekty afiniczne zaś zmieniają morfologię. Jednak gdy zmieniamy skalę, która jest różna dla każdego kierunku, wtedy interfejsy nie zmieniają morfologii<sup>7</sup>. Naturalne materiały mają zorganizowaną złożoność w skalach poniżej 5 mm i dostarczają matematycznej informacji o budowie ich powierzchni. Mies van der Rohe (1886–1969) przeciwstawiał prostokątnej geometrii formy z naturalnych materiałów w myśl zasady „mniej jest więcej”.

Roger Caillois (1913–1978) w badaniach z antropologii kultury i socjologii nie wyklucza retencji naturalnych „bifurkacji uniwersum”. Dla Cailloisa występowanie symetrii i asymetrii jest istotne w rozwoju zdrowych i płodnych struktur społecznych. Potwierdza ograniczenia binarnych systemów rozpoznawalnych w filozofii poststrukturalistycznej, ale pomimo to utrzymuje, że są one przydatne z powodów społecznych, przestrzennych i ontologicznych<sup>8</sup>. Tym samym problematyka bifurkacji czy dzielenia stała się na przełomie XX i XXI w. tematem debaty odnośnie do koncepcji powierzchni w architekturze.

### **Powierzchnia w tradycji architektonicznej**

Do tej pory postrzeganie powierzchni w architekturze uprawomocniał dyskurs odnośnie do struktury i dekoracji. Dawniej powierzchnia postrzegana była jako warunek wykończenia budowli. Bez względu na to czy znajdowała się na zewnątrz czy wewnątrz, zawsze była to warstwa, która mogła być usunię-

<sup>5</sup> Por. op. cit., 75.

<sup>6</sup> Por. M. Taylor, *Surface-Talk*, AD, Vol. 73, No. 2, 34.

<sup>7</sup> Por. N. Salingaros, *Architecture, Patterns, and Mathematics*, Nexus Network Journal, 1 January 2006, 79.

<sup>8</sup> Por. R. Caillois, *The Edge of Surrealism: A Roger Caillois Reader*, w: C. F. Durham (red.), London Press, 2003.

ta, by ukazać substrat, czyli prawdziwą wewnętrzną powierzchnię architektury. Pod pojęciem powierzchni zatem zwykle rozumiano warstwę o jakiejś grubości, która coś przykrywa lub maskuje. Do dziś występują w teorii architektury metafory takie, jak: ubranie, odzienie, naga struktura, „skóra i kości” opisujące jak bardzo budowla jest „odziana” przez swoją powierzchnię.

Dla Witruwiusza i wczesnych modernistów powierzchnia była warstwą wierzchnią lub zewnętrzną, obcą dla zasadniczej tektoniki budowli. Leone B. Alberti (1404–1472) twierdził, że architektura najpierw jest „naga” strukturą, która później jest „przyodziewana” w ornament. Zawsze jednak, gdy odróżnia się warstwę zewnętrzną od wewnętrznej, wtedy to co jest na wierzchu, wydaje się być ważniejsze i uprzywilejowane.

Fizyczna niezależność tego co zewnętrzne (ściana kurtynowa) była ważnym uwarunkowaniem architektury modernistycznej i manifestacją możliwości techniki i technologii. W dobie narzędzi cyfrowych nasila się tendencja do traktowania ściany „skóry”, jako autonomicznego obiektu budowlanego niezależnego od innych części budowli.

### **Powierzchnia jako skóra**

Wprowadzenie topologii do architektury powoduje odejście od venturiańskiej koncepcji złożoności i sprzeczności oraz derridiańskiej filozofii dekonstrukcji. Czołowi architekci nie opowiadają się już za logiką sprzecznościową i nie kontynuują założeń ideowych form opartych na braku ciągłości i grze przeciwieństw. W poszukiwaniu uprawomocnień dla form swobodnych, projektowanych w przestrzeniach syntetycznych, sięgają często po koncepcje filozoficzne Félix Guttariego (1930–1992) i Gillesa Deleuze (1925–1995). Koncepcje te uaktualniają i rozwijają ideę fałdy Leibniza. Fałda (Le Pli), która staje się filozoficzną zasadą budowy świata, ujęciem jego ciągłości i kontynuacji<sup>9</sup>. Przyjęcie w architekturze dyskursu deleuziańskiego oznacza zastąpienie nieciągłości dekonstruktywistycznego tekstu posprzecznościową ciągłością, jak chce J. Krausse, przechodzeniem od koncepcji „architektury-kostiumu” do koncepcji „architektury-skóry” ze wszystkimi konsekwencjami tego zabiegu<sup>10</sup>. Albo jak w ujęciu Leibniza, architektura może być rozumiana jako „skóra materii” napięta na niematerialnym organizmie zdarzeń wewnętrznych, a która przez swoje „okna” (punkty styku z zewnątrz) reaguje na środowisko<sup>11</sup>. W tym rozumieniu fałda, przez swoje implikacje organiczne, ma potencjał energetyczny i może być widziana jako skóra na ciele reagująca na wewnętrzne bodźce organizmu i zewnętrzne wpływy środowiska.

Pojęcie „skóra” było już odnoszone do tej części budowli, która oddziela jej wnętrze od zewnętrzna. Można wspomnieć tu organiczną koncepcję Hugo Häringa (1882–1958) skóry naciąganej na szkielet funkcji, albo miesowską zasadę „skóry i kości”, istotną dla budynków wysokich. Koncepcje te kształtowały myślenie o architekturze w drugiej połowie XX w. Najbliższą współczesnym tendencjom jest Fullera koncepcja „skóry” aktywnej<sup>12</sup>. W ostatnich dwóch dekadach problematyka „skóry” powraca i wywołana jest projektowaniem cyfrowym, a zwłaszcza modelowaniem powierzchni.

Peter Wood przyjmuje, że powierzchnie te nie są jeszcze skórą, tylko prymarnym stanem architektonicznym. Definiują przestrzeń formy, która nie może być kwalifikowana jako kompletna<sup>13</sup>. Trudno zatem akceptować, że to co najpierw powstaje, jest tylko wyznaczeniem objętości. Architektura intensywnie poszukuje jakiejś skóry, która mogłaby ją wyznaczać.

Szukając odniesień fenomenologicznych, trzeba zauważyć, że skóra nie występuje tylko jako struktura niezbędna do budowy ciała, lecz jest organem sensorycznym i przyczynia się do ujęcia kształtu ciała. Jest więc filtrem pomiędzy stanami, rozgraniczeniem wnętrza i zewnątrz, za co zwyczajowo odpowiedzialna jest architektura. Jednak architekci często używają pojęcia skóry do denotacji po-

<sup>9</sup> Koncepcja „fałdy” została wyłożona w: G. Deleuze, F. Guattari. *Mille Plateaux*, Les Editions de Minuit, Paris, 1980 oraz w: G. Deleuze, *Le Pli. Leibniz et le baroque*, Les Editions de Minuit, Paris 1988.

<sup>10</sup> Por. J. Krausse, *Information Folding in Architecture*, ARCH 4/1996, 74.

<sup>11</sup> Patrz: G. Deleuze, *Le Pli. Leibniz et le baroque*, Les Editions de Minuit, Paris 1988.

<sup>12</sup> Buckminster Fuller nigdy nie traktował powierzchni jak zwykłe „opakowanie” zawartości formy. Interesowało go, jak powierzchnia mogłaby naśladować wrażliwość ludzkiej skóry – jak przepuszczać światło i zachowywać porowatość – co zrobić, aby to „opakowanie” mogło działać jak animowana inteligentna powierzchnia. Por. T. M. Rohan, *From Microcosm to Macrocosm. The Surface of Fuller and Sadao's US Pavilion at Montreal Expo '67*, AD, Vol.73, No. 2, March/April, 2003, 51.

<sup>13</sup> Por. P. Wood, *Sticks and Stones. Skins and Bones*, AD, April 2003, 66.

wierzchni, zanim zostanie nadana jej struktura. Pokazują ją jako dwuwymiarowy wynik procesów informatycznych. Wtedy taka „skóra” jest półprzezroczysta, lub kolorowana, i często rozmywa się w swojej domenie wirtualnej. Zaprzecza to architekturze, która uzależniona jest od stabilności i uporządkowania. Takie przedstawienia sugerują, że „skóra” jest separowana albo porzucana, jak u gadów.

Cyfrowa skóra nie wynika jednak z naturalnych czynników ewolucyjnych, odrzuca materialność cielesna, której orędownikiem jest artysta Alfonso Lingus. Podobnie jak Patricia Piccinini uważa, że skóra w sztuce nie może być jak futro u zwierząt, czy inne okrycie, czy kamuflaż, uniform, czy ozdoba. Skóra jest powierzchnią wystawianą na działanie, jest strefą wrażliwą, podatną na ból i obelgi<sup>14</sup>. Taka cyfrowa skóra mogłaby być stworzona wirtualnie jako animowana powierzchnia poddawana symulowanym działaniom sił. Idea ta jest w pewnym stopniu realizowana, gdy chodzi o powierzchnie interaktywne czy wrażliwe na wpływy środowiska.

Dla Wooda cyfrowa skóra w projektach architektury odgrywa rolę ozdobną w taki sam sposób, jak (akceptowana od czasu *Sempera*) biel budowli antycznych, gdy stała się zasadniczą maską neoklasycyzmu. Jest także niemoralna, gdyż oderwała się od kości klasycyzmu i od mięsa modernizmu, stając się tanim, jednorazowym substytutem – nowym miejscem na materializowanie cielesności<sup>15</sup>. Jennifer Bloomer sugeruje, żeby architektura mogła zaistnieć w rzeczywistości wirtualnej, to powinna podjąć próbę stłumienia wstydu własnego ciała, odnalezienia piękna, które nie tkwi w grubości skóry. Sugeruje tatuaże w najbardziej newralgicznych miejscach, błony i membrany podkreślające seksualność<sup>16</sup>. Odwołania do seksualności architektury czyni także Rem Koolhaas, rozpatrując skórę jako rodzaj kondoma zapewniającego „czystość” wewnętrzną<sup>17</sup>. Kondom stał się znamienny dla późnego kapitalizmu, zachwyty lateksową estetyką sztucznej skóry, wszechobecnej w życiu codziennym i sztuce użytkowej. Syntetyczna skóra z lateksu manifestuje odrzucenie biologicznego modelu skóry jako systemu odnawialnego cyklicznie i zastąpienie go sterylną, sztuczną membraną.

Skóra cyfrowa jest wizerunkiem doznania zmysłowego, które wyparło doznania dotykowe, właściwe zwykłej skórze na rzecz sztucznej faktury zwanej teksturą. Gdy osiągnięta zostanie spójność między logiką wytwarzania, ograniczeniami materiału i geometrią powierzchni, to będzie można realistycznie przedstawiać skórę architektury.

## **Powierzchnia w cyfrowej praktyce projektowej**

Przyjmowane są różne strategie geometryzowania powierzchni do wytwarzania. Dwuwymiarowa fabrykacja często obejmuje konturowanie triangulacyjne lub tesselacje poligonalne. Stosuje się także powierzchnie o podziałach równoległych, rozwijalne lub rozkładalne. Architektom, wytwórcom i wykonawcom chodzi o to, żeby wyprowadzać dwuwymiarowe płaskie komponenty z powierzchni złożonej geometrycznie. Niektóre projekty na tym etapie są nawet schematyczne, a powierzchnia jest programowo pozostawiana jako dwuwymiarowy odpowiednik krzywej, bez grubości czy mięsistości – jako nieprzezroczyste albo przezroczyste opakowanie. Wtedy wyzwaniem jest dwuwymiarowa interpretacja, czyli wybór odpowiedniej aproksymacji geometrycznej, która zachowa istotne jakości formy trójwymiarowej, jaką przedstawia model cyfrowy. W jaki sposób opakowanie zostanie wyprodukowane, zależy od tego, co będzie określone jako jego struktura, a co jako wypełnienie, jak będą rozłożone elementy tektoniczne, a co będzie warstwą wierzchnią lub wzajemną kombinacją etc.

### **Konturowanie**

Konturowanie sekwencji planarnych sekcji, często do siebie równoległych i rozmieszczonych w równych odstępach, jest wykonywane automatycznie na modelu geometrycznym przez narzędzia modelujące. Dane te służą do bezpośredniej artykulacji komponentów strukturalnych budowli.

Konturowanie jest konceptualnie takim samym procesem, jak *lofting* w budowie okrętów, podczas którego definiowany jest kształt kadłuba przez sekwencje płaskobocznych przekrojów poprzecznych. Wyznaczają one „żebra” mocowane do „kręgosłupa”, który przebiega wzdłuż kadłuba. Tak wyprowadzone linie przekrojowe czynią rodzaj siatki konturowej, którą można dalej manipulować w przes-

<sup>14</sup> Por. A. Lingus, *Earthbound Subjectivity*, State University of New York Press (Albany), New York 1989, 138.

<sup>15</sup> Por. P. Wood, op. cit., 67.

<sup>16</sup> Por. J. Bloomer, *...and Venustas.*, *AA Files* 25, Summer 1993, 8.

<sup>17</sup> Patrz: R. Koolhaas, *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*, Monacelli Press, 1997 oraz R. Koolhaas, B. Mau, H. Werlemann, *SMLXL*, Monacelli Press, Subsequent, 1997.

trzeni cyfrowej, żeby stworzyć abstrakcyjny szkielet strukturalny powierzchni lub budowli. Może on być poddawany analizom konstrukcyjnym wykonywanym przez narzędzia cyfrowe, aby precyzyjnie określić wszystkie elementy tej struktury. Podczas realizacji muzeum Gehry'ego w Bilbao wykonawca wykorzystał niemiecki program *Bocad*, aby wygenerować całościowy model struktury budowli. Były to stalowe ramy i siatki tektoniczne powierzchni<sup>18</sup>. Do niej mocowane są panele złożone z arkuszy blachy tytanowej o grubości 0,38 mm. Istotne jest, że ten sam program został użyty, aby automatycznie przetworzyć dane do wytwarzania CNC i precyzyjnie pociąć przedmontażowo różne komponenty. Tak samo postępowano podczas realizacji Walt Disney Concert Hall w Los Angeles i innych projektów Gehry'ego.

Jedną z technik konturowania jest wyprowadzanie krzywych isoparametrycznych (*isoparms*) za pomocą wizualizacji powierzchni NURBS bezpośrednio w czasie konturowania w kierunkach U i V. Przykładem jest stoisko handlowe BMW Brandscape na *Autoshow 2000* w Genewie projektu Bernharda Frankena z ABB Architekten. Geometrię podwójnych krzywych wyprowadzono jako isoparmy ze złożonej powierzchni NURBS i mogły być wykonane przez narzędzia CNC. Często jednak ograniczenia budżetu sprawiają, że złożona geometria krzywych NURBS jest aproksymowana przez okręgi radialnej geometrii. Wtedy elementy składane z części wykonywane są po niższych kosztach produkcji.

### Triangulacje

Najczęściej złożone krzywoliniowe powierzchnie są wyznaczane do wytwarzania za pomocą triangulacji lub innych tessellacji na płaszczyźnie. Stosuje się także konwersje dwukrzywiznowej płaszczyzny w płaszczyznę liniową, które powstają przez liniową interpolację między dwoma krzywymi. Działania te pozwalają rozłożyć daną powierzchnię na płaskie elementy, które wycinają maszyny CNC.

Architekci mają do dyspozycji wiele regularnych tessellacji powierzchni, które można otrzymać przez przekształcenia geometryczne powierzchni (translacje, obrót, odbicie) i ich złożenie. Większość to wieloboki regularne (trójkąt równoboczny, kwadrat, sześciokąt, ośmiokąt i dziesięciokąt). Holenderki malarz i grafik Maurits Cornelis Escher (1898–1972) wyznaczył tessellacje przestrzeni hiperbolicznych, a także liczne tessellacje płaszczyzny. W opracowaniu pt. *Regular Division of the Plane with Asymmetric Congruent Polygons* (1941) przedstawił swoje twórcze podejście, które integruje matematykę i sztukę. Escher studiował kolor według podziału powierzchni. Opracował system klasyfikujący kombinacje kształtu, koloru i cech symetrii. W latach 50. XX w. Escher badał także możliwości przedstawiania nieskończoności na dwuwymiarowej płaszczyźnie. Interesowały go także hiperboliczne tessellacje na powierzchni hiperbolicznej o podziałach regularnych. Opracowane przez niego wzory wykorzystywane są wszędzie tam, gdzie geometria jest podstawą dla osiągnięcia pożądanych efektów.

W 1974 brytyjski matematyk Roger Penrose przedstawił pierwsze przykłady nieperiodycznych tessellacji płaszczyzny i opracował program do generowania takich układów. Wykorzystali jej architekci Lab Architecture Studio w projekcie okładzin elewacyjnych z kamienia naturalnego na jednym z budynków *Federation Square* (1997–2001) w Melbourne. Znanym przykładem poligonalnej tessellacji są powierzchnie dachów *Sydney Opera House* (1956–1973) projektu Jorna Utzona. Dziewięćdziesiąt cztery swobodne powierzchnie na rysunkach Utzona były pierwszymi powierzchniami aproksymowanymi segmentowo opartymi na geometrii sfery o różnych promieniach. Następnie segmenty dzielono na płaskie elementy możliwe do wykonania metodą przemysłową<sup>19</sup>.

Triangulacja jest już powszechnie stosowaną tessellacją. Przykładem jest przekrycie budynku DG Bank (1996–2001), który projektował Frank Gehry na *Parizer Platz* w Berlinie (patrz: AV 1/2002). Podzielona na trójkąty struktura przestrzenna została skonstruowana z pełnych prętów ze stali nierdzewnej. W każdym węźle spotyka się sześć prętów, pod innym kątem każdy, tworzących rodzaj gwiazdy. Pręty były cięte (każdy o innym wymiarze) w technologii CNC z arkuszy ze stali o grubości 0,70 mm. Tak powstała siatka, którą wypełnia około 1500 płaskich, szklanych paneli ciętych w technologii CNC. Podobnie postępowano z przekryciem *Great Court* British Museum (1997–2000) w Londynie, projektu Foster & Partners. Nieregularnie zdeformowany fragment powierzchni przeciętego torusa został zracjonalizowany tak, że powstała trójkątna siatka składająca się z 4879 prętów i 1 566 różniących się między sobą węzłów. Siatkę wypełnia 3312 paneli szklanych. Komponenty wykonano

<sup>18</sup> Por. S. Stephens, *The Bilbao Effects*, Architectural Record, May 1999, 126–128.

<sup>19</sup> Patrz: K. Januszkiewicz, M. Gnoiński, *Ktedra Kultury w Sydney*, AV 3/2003, 12–27.

w technologii CNC. Biuro Foster'a coraz częściej projektuje obiekty o złożonej geometrii. Opiera się ona na sparametryzowanych fragmentach torusa, które płynnie przechodzą jeden w drugi. Złożone krzywe ulegają zrationalizowaniu za pomocą radialnej geometrii sfery, stożków, cylindrów czy pierścieni, która aproksymuje złożoność krzywizn projektowanych powierzchni. Najlepiej pokazują to *American Air Museum* (1987–1997) w Duxford oraz *Regional Music Centre* w Sage Gateshead (1997–2004), *Smithsonian Hall* (2004–2007) w Waszyngtonie, struktury opracowane przez inżynierów z Arup, a także Fuksasa Now Milan Trade Center (2005) – swobodnie uformowana wstęga jest początkiem realizacji nowego planu przebudowy Mediolanu w pod kątem zrównoważonego rozwoju. Przykłady te pokazują tektonikę dwukrzywiznowych powierzchni uzyskaną za pomocą tesselacji – ich strukturę i układ płaskich komponentów zróżnicowanych pod względem rozmiaru, precyzję wykonania, jaką osiąga się tylko za pomocą cyfrowej fabrykacji.

Dostępne obecnie programy modelujące często mają wiele opcji do tesselacji i można wybierać nie tylko geometrię elementów, ale także ich rozmiar. Przez różnorodność parametrów tesselacji projektanci mogą interaktywnie analizować różne aproksymacje powierzchni odpowiednio do kosztów i scenariuszy produkcji.

### **Powierzchnie rozwijalne, prostokreślne**

Inną metodą racjonalizowania podwójnie zakrzywionych powierzchni jest ich konwertowanie w powierzchnie o równoległym rozwinięciu liniowym. Takie powierzchnie powstają przez liniową interpolację między dwoma krzywymi w przestrzeni, tj. przez połączenie par krzywych prostymi równoległymi, które są rozmieszczane w regularnych interwałach. Uczynili tak Bart Lootsma i Lars Spuybroek z biura NOX, realizując *Pawilon H<sub>2</sub>O* w Neeltje Jans (1998)<sup>20</sup>.

Jest duża różnorodność powierzchni, które mogą być generowane w ten sposób. Do prostszych należą stożki i cylindry, a bardziej atrakcyjne architektonicznie to kształty siodłowe, hiperboliczne, paraboloidy i hiperbole. Powierzchnie o rozwinięciu liniowym są łatwe do wykonania za pomocą konwencjonalnych technik budowlanych. Powierzchnie te są najczęściej stosowane w architekturze, gdyż można je rozłożyć na płaskie komponenty i wytwarzać cyfrowo z arkuszy materiału.

Biuro Gehry'ego najczęściej stosuje powierzchnie rozwijane prostokreślne, gdyż są łatwe i szybkie w realizacji. Gehry fizycznie modeluje formę, „rozwijając” paski papieru lub metalu. Są one dygitalizowane, a potem analizowane przez program CATIA i konwertowane w cyfrowe powierzchnie rozwijalne. Powierzchnie rozwijalne prostokreślne lub dwukrzywiznowe mogą być badane za pomocą nieliniowych analiz Gaussa. Pozwalają ocenić stopień krzywizny. W analizach Gaussa powierzchnie rozwijalne mają krzywiznę zero w każdym punkcie powierzchni, bo są prostokreślne w każdym kierunku. Analizy Gaussa były potrzebne w projekcie EMP w Seattle do ustalania i kontroli krzywizny złożonych geometrycznie powierzchni. Ułatwiły też kontrolę wytwarzania i kosztów. Rozwinięcia powierzchni cylindrycznych i parabolicznych występują w *Centrum Bank* (1997–2002) w Vaduz projektu Hansa Holleina. Prostokreślne tesselacje pozwoliły na precyzyjne wykonanie paneli elewacyjnych i dachowych.

Powierzchnie rozwijalne nie są w architekturze zupełnie nowe, lecz nigdy przedtem ich wyznaczenie nie było tak łatwe i precyzyjne. Antonio Gaudi (1852–1926) własnymi metodami wyznaczał powierzchnie rozwijalne na modelach projektowanych obiektów. Powierzchnie dzielił pośrodku, by następnie do tej linii prowadzić prostopadłe i wykonać aproksymacje, albo stosował geometrię stożka. Metody te są nadal stosowane w budownictwie tradycyjnym, a także wszędzie tam, gdzie wyobraźnia i umiejętności rzemieślników pozwalają na budowanie bez architektów. Cyfrowe technologie CAM uwzględniają także produkcję nierozwijalnych podwójnie krzywiznowych powierzchni, aczkolwiek po większych kosztach.

### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Bloomer, ...and Venustas., *AA Files* 25, Summer 1993, 8-9.
- [2] R. Caillois, *The Edge of Surrealism: A Roger Caillois Reader*, w: C. F. Durham (red.), London Press, 2003.
- [3] G. Deleuze, *Le Pli. Leibniz et le baroque*, Les Editions de Minuit, Paris 1988.

---

<sup>20</sup> Patrz: B. Lootsma, L. Spuybroek, NOX H<sub>2</sub>O, *Padiglione dell'acqua e installazione interattiva, Neeltje Jans, Olanda, Domus*, 790/1997, 28–34.

- [4] G. Deleuze, F. Guattari. *Mille Plateaux*, Les Editions de Minuit, Paris 1980.
- [5] R. Descartes, *Zasady filozofii*, Wyd. Antyk, Kęty, 2001, 60–61.
- [6] K. Januszkiewicz, M. Gnoiński, *Ktedra Kultury w Sydney*, AV 3/2003, 12–27.
- [7] R. Koolhaas, *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*, Monacelli Press, 1997.
- [8] R. Koolhaas, B. Mau, H. Werlemann, *SMLXL*, Monacelli Press, Subsequent, 1997.
- [9] J. Krause, *Information Folding in Architecture*, ARCH 4/1996, 74.
- [10] A. Lingus, *Earthbound Subjectivity*, State University of New York Press (Albany), New York 1989.
- [11] Leonardo da Vinci, *Notatniki*, 1938, 75–76.
- [12] B. Lootsma, L. Spuybroek, NOX H2O, Padiglione dell'acqua e installazione interattiva, Neeltje Jans, Olanda, *Domus*, 790/1997, 28–34.
- [13] T. M. Rohan, *From Microcosm to Macrocosm. The Surface of Fuller and Sadao's US Pavilion at Montreal Expo '67*, AD, Vol.73, No. 2, March/April, 2003, 51-56.
- [14] N. Salingaros, *Architecture, Patterns, and Mathematics*, Nexus Network Journal, 1 January 2006, 79.
- [15] L. Spuybroek, *The Structure of Experience*, w: C. C. Davidson, A. More (red.) Cambridge MA, MIT Press, 2000
- [16] A. Stroll, *Surfaces*, University of Minnesota Press, Minneapolis 1988.
- [17] M. Taylor, *Surface-Talk*, AD, Vol. 73, No. 2, 2003, 30–35.
- [18] S. Stephens, *The Bilbao Effects*, Architectural Record, May 1999, 126–128.
- [19] P. Wood, *Sticks and Stones. Skins and Bones*, AD, April 2003, 66.