

## O topologii w projektowaniu architektury

### On topology in designing architecture

Maria Helenowska-Peschke  
 WA Politechnika Gdańska

Słowa kluczowe: architektura, projektowanie, topologia, fałdowanie

**Keywords:** architecture, designing, topology, folding

#### Streszczenie

Inspiracje topologią w architekturze współczesnej widoczne są zarówno w teorii jak i praktyce projektowej. Formalnie przyjmuje się, że topologia powstała w dziewiętnastym wieku i służy do badań jakości cech geometrycznych formacji w n-wymiarowej przestrzeni w powiązaniu z dynamiczną transformacją ciągłą.

Dostęp do zaawansowanych cyfrowych narzędzi projektowania dających możliwość tworzenia i modyfikacji unikatowej, złożonej, krzywoliniowej pofałdowanej geometrii pozwolił na formalne i konceptualne badania przestrzeni topologicznej przez postępowych projektantów. Architekci zainspirowani geometrią topologiczną poszukują nowych rodzaju relacji w przestrzennej ciągłości zacierając różnice między wnętrzem a zewnątrzem, badają wcześniej nie dostępne, abstrakcyjne i złożone powierzchnie zakrzywione. Przedstawione zostały projekty takie jak *Max Reinhardt Haus* Eisenmana, a także te wyłapujące esencję wstęgi Möbiusa jak *M. van Schaik's Australian Wildlife Heath* czy też przedstawiające powierzchnie minimalne Costy jak w *Arnhem Central Transfer Hall* projektu UN Studio gdzie znalazły się także inspiracje butelką Kleina i powierzchnią Seiferta. A to przykłady, które konstytuują topologiczne tendencje w architekturze współczesnej.

#### Abstract

Topological inspirations in the contemporary architecture, which are rooted both in both the theory and workshop design, changes. Topology was formally established in the nineteenth century and it examines the qualitative features of geometric formations in the n-dimensional space, linking them with the idea of a dynamic, continuous transformation.

An access to advanced digital tools for creating and modifying a unique, complex, curvilinear, folding geometry, catalyzed formal and conceptual exploration of the topological space by avant-garde designers. Architects inspired by the topological geometry seek for a new type of continuous spatial relationships, blurring the differences between the inside and the outside, explore the previously inaccessible, abstract, curvilinear, complex surfaces. In the paper, projects such as Eisenmann's *Max Reinhardt Haus* - capturing the essence of Möbius strip, *M. van Schaik's Australian Wildlife Health* – representing minimal Costa surface and as well as *Arnhem Central Transfer Hall* designed by UN Studio and inspired by Klein bottle and Seifert surface are discussed as an interesting examples of topological tendencies in contemporary architecture.

*Lata dziewięćdziesiąte rozpoczęły się kanciasto, a zakończyły krzywoliniowo. W architekturze, zaczęły się dekonstruktywistycznie, a zakończyły topologicznie.*

Greg Lynn , 2004

Topologia (gr. *tópos* – miejsce, okolica; *lógos* – słowo, nauka) to jeden z ważniejszych działów we współczesnej matematyce. Bez topologii nie mogłaby powstać dzisiejsza grafika komputerowa. Dział ten zajmuje bowiem badaniem takich własności figur i brył geometrycznych, które nie ulegają zmianie nawet po radykalnym ich zdeformowaniu. Chociaż za twórcę topologii przyjmuje się często Leonharda Eulera (1707-1783) to dopiero tekst *Analysis Situs*, opublikowany w 1895 przez Henri'ego Poincaré w *Journal de l'École Polytechnique*, zawierał pierwsze systematyczne podejście do topologii, definiując ją jako naukę, zajmującą się cechami jakościowymi tworów geometrycznych w n-wymiarowej przestrzeni. Obiekt, dowolnie deformowany w sposób ciągły – skręcany, zginany, rozciągany - zmienia swoją geometrię, lecz w sensie topologicznym pozostaje homeomorficzny względem swojego stanu wyjściowego. Stanowi niejako „super kształt” będący rodziną topologicznie równoważnych kształtów.

Na przełomie XX i XXI w. idea dynamicznej, ciągłej transformacji została zaakceptowana przez teorię i praktykę architektury i jawi się dziś jako kulturowe i naukowe źródło organicznej, krzywoliniowej

i „poskręcanej” architektury. W ciągu ostatnich kilku lat w architektonicznym języku formalnym występuje artykulacja „fałdujących” topologicznych transformacji stosowana zarówno w skali budynku jak i miasta.

Dzięki cyfrowym narzędziom projektowania topologia znalazła się w architekturze i jest obecna zarówno w sferze teoretycznej jak i praktyce projektowej. Greg Lynn jest pierwszym praktykującym architektem, który docenił topologiczną strategię formowania architektury. W eseju *Folding in Architecture* (1993) wskazuje on na filozoficzną nadbudowę tej strategii i odwołuje się do filozoficznej koncepcji ciągłości Gillesa. Koncepcja ta opublikowana w 1988 w *Le pli - Leibniz et le baroque* jest dziś kanonicznym dziełem dla tzw. „fałdujących architektów”. Deleuze’a wyłożył tam swój specyficzny sposób pojmowania świata, w którym *le pli* czyli fałda jest tym co jednoczy i łączy, łagodzi różnorakie konflikty, nie musi być stabilna gdyż może zmieniać się w przestrzeni i czasie. W projektowaniu architektury oznacza to płynnie pozaginane kształty, bezkonfliktowe powiązanie różnych elementów, a sama forma może się zmieniać czy poruszać. W ten sposób powstaje nowa kategoria obiektów zdefiniowanych nie przez to czym są ale przez sposób w jaki się zmieniają i przez reguły, które definiują ich ciągle mutacje. To nic innego tylko fałdowanie, które Greg Lynn rozumie jako *łączenie zróżnicowań poprzez subtelną mieszkanką składników zachowująca ich indywidualne cechy*<sup>1</sup>.

Fałdowanie w architekturze jest zatem zaprzeczeniem dekonstruktywistycznych dążeń do podkreślania różnic i sprzeczności występujących w świecie fizycznym i kontekście kulturowym. Strategią są tu nieciągłości, rozdrobnienia, konfrontacje i zaprzeczenia. Fałdowanie zaś stanowił alternatywę w postaci logiki krzywo-liniowości i giętkości łączącej odmienne elementy i różnice w obrębie ciągłych, heterogenicznych systemów. *Tak więc wrażliwość na zakrzywione i wygięte linie jest połączona z chęcią konstruowania płynnych przestrzeni za pomocą ciągłych, a równocześnie zróżnicowanych systemów, które są w stanie objąć różne kontekstowe czynniki w dynamiczny i spójny sposób*<sup>2</sup>.

Gdy w 1989 powstał pierwszy modeler powierzchni oparty na krzywych sklejanym (*B-spline*) oraz gdy opracowano powierzchnie NURBS (*Non-Uniform Rational B-splines*), to otworzyły się możliwości łatwego tworzenia form o złożonej geometrii. Kształt tych krzywych i powierzchni określany jest bowiem za pomocą punktów kontrolnych przez co nadają się do modelowania dowolnych kształtów w grafice 3D. Obecnie są w powszechnym użyciu. Opisuje je model matematyczny, który pozwala na ich obliczanie i przedstawianie graficzne. Dopiero w 1993 udostępniono pierwszy taki modeler dla PC, zwany NöRBS opracowany na Uniwersytecie Technicznym w Berlinie. Na bazie NöRBS powstały potem modelery *Freeform surface*, i *Freeform surfacing*, które służą do modelowania powierzchni nieregularnych. Dziś pracują w systemie CAD, a także w innych rozszerzeniach graficznych. Opisują one powierzchnię projektowanego obiektu w 3D geometrii, racjonalizując jego elementy<sup>3</sup>. Otworzyły się zatem możliwości manipulacji powierzchnią, co znacznie ułatwiło tworzenie „pofałdowanych” form. Techniki projektowania cyfrowego bazujące na generatywnych metodach obliczeniowych wykorzystują również matematyczne równania parametryczne do opisu krzywych i powierzchni NURBS. Możliwe jest tworzenie modeli asocjatywnych polegających na definiowaniu wewnętrznej generatywnej logiki formy. Możliwe jest także interaktywne, wielokrotne modyfikowanie obiektów (za pomocą zmiany wartości odpowiednich parametrów), zachowujące relacje i ciągłość geometryczną. Ten „topologiczny efekt” cyfrowego środowiska nie jest neutralny wobec efektów procesu projektowania. Przejście z arbitralnego definiowania formy na jej eksperymentalne poszukiwanie otwiera nowe obszary eksploracji formalnej i tektonicznej, podkreślające zdolność formy do „ukształtowania się” i adaptacji. Ewolucja, rozwój i proces jako dynamiczna zmienność, stały się nieodłączną cechą płynnej elastycznej konfiguracji architektonicznej<sup>4</sup>.

Podjęcie topologiczne manifestuje się zatem zarówno w dynamice procesu projektowania opartego na wariantowym poszukiwaniu, wyłanianiu się formy stanowiącej tymczasowy „zamrożony kadr” jak i zmianie języka formalnego na elastyczne, krzywoliniowe powierzchnie o złożonej geometrii. *Topologia w architekturze ma szczególny potencjał zwłaszcza gdy przenosi się nacisk z określonych form ekspresji na relacje, jakie występują między i w obrębie istniejącej lokalizacji*

<sup>1</sup> G. Lynn, *Architectural Curvilinearity, The Folded the Pliant and the Supple*, AD, Academy Press, 1993, s. 24.

<sup>2</sup> G. di Cristina, *The Topological Tendency in Architecture* in *Architecture and Science*, Wiley-Academy, 2001, s. 7.

<sup>3</sup> Por. K. Januskiewicz, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych – stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Wrocław 2010, s. 19.

<sup>4</sup> G. di Cristina, op. cit., s. 7-11.

*i proponowanego programu. Te zależności stają się zasadami strukturyzującymi i organizacyjnymi do generowania i transformacji formy*<sup>5</sup>.

### **Wstęga Möbiusa**

W 1858 niemiecki matematyk Ferdinand Möbius pierwszy opisał powierzchnię, która nie jest orientowalna tzn. nie można jednoznacznie pokazać swojej „strony” tej co jest z wierzchu, ani tej co jest od spodu (lewej lub prawej). Wstęga Möbiusa, podobnie jak opisana w 1882 butelka Kleina, ze względu na swoją istotną cechę jednostronności ma znaczący potencjał architektoniczny wyrażający się w zacieraniu wyraźnych granic między „wnętrzem” i „zewnątrzem”. Architektoniczna interpretacja jednostronnej powierzchni jest używana przez nowatorskich projektantów do artykulacji dynamiki i płynności, skądinąd statycznych struktur. W 1992 Peter Eisenmann zaprojektował w Berlinie, wieżowiec *Max Reinhardt Haus* (nigdy nie zrealizowany), którego struktura stara się uchwycić istotę wstęgi Möbiusa. W projekcie Eisenman'a trzydziestoczętorepiętrowy budynek fałduje się w pionie wokół swojego rdzenia, tworząc formę, która w ciągłej mutacji morfologicznej, rozdziela się, przekształca i łączy horyzontalnie na poziomie dachu. *Max Reinhardt Haus* zaprzecza tradycyjnej dialektyce pomiędzy wnętrzem i zewnątrzem i zaciera różnice między przestrzenią publiczną i prywatną. Budynek, identyfikowany przez swą wysokość i „pogniecioną” formę, odzwierciedla stale zmieniający się paradygmat miejski. W 1993 Ben van Berkel zaprojektował i zbudował w Amsterdamie *Möbius House* również inspirowany topologiczną koncepcją wstęgi. Późniejszy przykład zapożyczenia stanowi projekt Bjarke Ingels Group nagrodzony w 2008 pierwszą nagrodą w międzynarodowym konkursie na budynek nowej *Biblioteki Narodowej Kazachstanu* w Astanie.

### **Butelka Kleina**

Jednym z interesujących przykładów formowania topologicznego w architekturze jest projekt UNStudio transportowej stacji węzłowej *Arnhem Central* (Ben van Berkel, Tobias Wallisser, Sibó de Man, powstały przy współpracy z C. Balmond, 1996–2007). Program założenia obejmuje plan zagospodarowania terenu stacji wraz z infrastrukturą (w tym dwóch tuneli) oraz salę transferową. Teren stacji Arnhem stanowi miejsce przesiadek dla pasażerów podróżujących różnymi środkami transportu publicznego - kolejowego, autobusowego, trolejbusowego i taxi a także indywidualnego samochodowego, rowerowego oraz ruchu pieszego (szacuje się przepływ ok. 110 000 pasażerów na dzień). Tworząc diagram organizacji ruchu, autorzy projektu przenieśli analizy z dwuwymiarowych płaszczyzn na trójwymiarową pojedynczą powierzchnię czyli *warstwową przestrzeń, która pomnażała dostępne powierzchnie komunikacyjne, równocześnie omijając wąskie gardła (windy, schody) wynikające z konieczności połączenia różnych poziomów*<sup>6</sup>. Zaprojektowany układ ramp stanowił odpowiednik diagramu, w którym wszystkie linie są przyciągane i zaginane w kierunku pustego centrum bez ich załamania i jednoczenia się. Idea ciągłej i spójnej podróży z wieloma punktami wyjściowych i docelowymi została przełożona na topologiczną manifestację - butelkę Kleina (opisana w 1882 przez Felixa Kleina ciągła, jednostronna powierzchnia). Przestrzeń węzła w sposób płynny transformuje się od powierzchni do otworu i z powrotem, łącząc różne poziomy stacji (odpowiadające innym formom transportu) za pomocą pochyłych powierzchni a piesi intuicyjnie znajdują właściwą drogę.

### **Powierzchnia Seiferta**

Obok powierzchni (dwuwymiarowych rozmaitości topologicznych) bardzo istotną rolę odgrywają w topologii węzły (krzywe zamknięte zanurzone w przestrzeni trójwymiarowej). Karl J. H. Seifert udowodnił, że każdy węzeł w przestrzeni 3D może być reprezentowany jako ograniczenie spójnej, zorientowanej powierzchni brzegowej. Sala transferowa *Arnhem Central Transfer Hall* jest centralnym elementem planu *Arnhem Central Masterplan*. Budynek mieści na wielu poziomach urządzenia i poczekalnie dla różnych form transportu a także obiekty handlowe, centrum konferencyjne i biura łącząc je z centrum miasta, podziemnym garażem i jednostką mieszkalną. Projektant sali transferowej, Cecil Balmond (Arup) wykorzystał topologiczną teorię węzłów do rozwiązania problemu pionowej i pozio-

<sup>5</sup> B. Kolarevic, *Digital morphogenesis*, 4 SIGraDi, 2000, s. 13, on line <http://www.i-m-a-d-e.org/fabrication/wp-content/uploads/2010/08/02DigitalMorphogenesis.pdf> (z dnia 12.06.2012).

<sup>6</sup> P. Schumacher, *Rational in Retrospect – Reflections on the Logic of Rationality in Recent Design*, AA Files Annals of the Architectural Association School of Architecture, 1999 on line <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Rational.htm> (z dnia 12.06.2012).

mej strukturalnej zgodności i ciągłości połączeń *Narysowaliśmy linię, która wznosi się od fundamentów, tworzy pętle i zawija w przestrzeni. Jak zachować krzywoliniowość jako naturalną konsekwencję koncepcji? Do tego potrzebne było faldowanie, łączące dach i podłogi w jedną siatkę*<sup>7</sup>. W rezultacie powstała idea obiektu stanowiącego tzw. powierzchnię Seiferta - ciągłą, zorientowaną powierzchnię, której brzeg określał przyjęty węzeł. W późniejszym etapie projektu, korzystając zarówno z fizycznych technik modelowania jak i narzędzi komputerowych, przełożono istotę projektu na model łupinowego dachu podtrzymywany przez skręcone niby-kolumny o złożonej, podwójnie zakrzywionej geometrii.

Jako że konstrukcja została wykonana pod koniec lat 90. i nie istniały specjalistyczne programy do projektowania asocjacyjno-parametrycznego, umożliwiające poszukiwanie optymalnych rozwiązań strukturalnych, konieczne było stworzenie przez zespół projektowy specjalnego narzędzia programowego służącego do analizy metodą elementów skończonych.

### **Minimalna powierzchnia Costa**

Minimalne powierzchnie są zdefiniowane jako powierzchnie o zerowej średniej krzywiznie. Fizyczne modele powierzchni, można stworzyć przez zanurzenie ramki z drutu w roztworze mydła. Błonna mydlana przyjmie kształt minimalnej powierzchni której granicą jest rama drutu. Minimalna powierzchnia Costa znaleziona w 1984 przez brazylijskiego matematyka wygląda jak bardzo zdeformowany torus, nakłuty w trzech punktach (okolice trzech nakłuć rozciągnięte są nieskończenie daleko). Inne znane powierzchnie minimalne to płaszczyzna, katenoida i powierzchnia śrubowa. Przykładem obiektu, którego geometria wywodzi się z abstrakcyjnej koncepcji powierzchni minimalnej jest projekt *M. van Schaik Australian Wildlife Health Centre* (2007) w Healesville.

Budynek *Australian Wildlife Health Centre* zorganizowany jest wokół idei publicznej przestrzeni galerii, gdzie odwiedzający ma możliwość obserwowania działalności weterynaryjnej szpitala (powierzchnie ekspozycji i sale zabiegowe otaczają pierścieniem przeszklone ambulatorium). Całość jest przykryta przez trójosiowo symetryczny dach z połyskującej, złotawej membrany, która podąża za kształtem minimalnej powierzchni Costa, nadając budynkowi wrażenie „wywrócenia środkiem na zewnątrz”. Forma dachu opada do poziomu podłogi tworząc wewnętrzny dziedziniec, z którego zwiedzający mogą oglądać multimedialne prezentacje. Dziedziniec i dach stanowią „komin słoneczny”, biernie wypychający ciepłe powietrze z wnętrza eliminując konieczność stosowania klimatyzacji mechanicznej.

*Do poszukiwania finalnej formy tej szczególnej powierzchni Costa spełniającej wymagania centrum zdrowia, potrzebny był komputacyjny, iteracyjny proces projektowania. Dzięki niemu udało się połączyć wymagania funkcjonalne i programowe z zamierzeniem formalnym projektanta za pomocą procesu poszukiwania formy, który pozwolił sprostać geometrycznej i topologicznej charakterystyce powierzchni*<sup>8</sup>. Uzyskana powierzchnia posiada genus równy 3, czyli 3 otwory (światliki) doprowadzające światło dzienne do wewnętrznego dziedzińca.

### **Konkluzje**

Przytoczone nowatorskie realizacje, z ostatniej dekady, są przykładem głębokich reperkusji abstrakcyjnych, matematycznych idei na współczesny dyskurs w kulturze, sztuce i architekturze. Nowatorscy projektanci rezygnują z formalnego konfliktu na rzecz płynnego łączenia odrębnych elementów, poszukiwania ciągłości przestrzeni i spójności formy. Eksploracja topologicznych transformacji i ukonstytuowanie się nowego języka formalnego są związane z rozwojem metod komputacyjnych umożliwiających „obliczanie” geometrii obiektu na podstawie zdefiniowanej wewnętrznej generatywnej logiki zamiast bezpośredniego jej modelowania. Architekci dostali do rąk narzędzia pozwalające na kreowanie i modyfikowanie form o niepowtarzalnych złożonych, krzywoliniowych kształtach oraz ich optymalizację. Dzięki nim badanie topologicznie dynamicznej i niejednorodnej przestrzeni stało się alternatywą dla tradycyjnej koncepcji mierzalnej jednorodnej przestrzeni euklidesowej. Powstają innowacyjne formy architektoniczne inspirowane abstrakcyjnymi powierzchniami, takimi jak wstęga Möbiusa, butelka Kleina, powierzchnia minimalna Seiferta, itp., projektowane za pomocą narzędzi cyfrowych i zarazem produkowane cyfrowo. Pod wpływem topologii kluczowymi słowami

<sup>7</sup> C. Balmond, *Informal*, Prestel USA, New York and London, 2007, s. 349, 352.

<sup>8</sup> J. Burry, M. Burry, *The New Mathematics of Architecture*, Thames & Hudson, London, 2010, s. 21-23.

we współczesnym dyskursie architektonicznym stają się transformacja i metamorfoza, a także dynamiczna zmienność, będące wyrazem ewolucji i ciągłego postępu.

Powstaje dyskusyjna dla teoretyków kwestia, czy architektura, która jest tworzona za pomocą topologicznych procesów deformacji, posiada atrybuty topologiczne także po skonstruowaniu. Staje się wszakże, statycznym produktem końcowym animowanego procesu. Według pioniera topologicznego podejścia G. Lynna, cyfrowo generowana architektura nie powinna być uznawana za statyczną ale raczej stabilną, implikująca ruch, bez rzeczywistego poruszania się. Bowiem dynamizm, który w sensie fizycznym wyraża się czasowymi zmianami przestrzennymi, jest obecny w zakrzywionych, ekspresyjnych, „zagiętych” formach budowanych obiektów. Konstytuują one nowatorską architekturę jako odzwierciedlenie zmian społecznych, ekonomicznych i kulturowych przyniesionych przez erę informatyczną.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Burry, M. Burry, *The New Mathematics of Architecture*, Thames & Hudson, London, 2010.
- [2] C. Balmond, *Informal*, Prestel USA, New York and London, 2007.
- [3] G. di Cristina, 'The Topological Tendency in Architecture' in *Architecture and Science*, Wiley-Academy, London 2001.
- [4] K. Januszkiewicz, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych – stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Wrocław 2010.
- [5] B. Kolarevic, *Digital morphogenesis*, 4 SIGraDi, 2000, s. 13, on line <http://www.i-m-a-d-e.org/fabrication/wp-content/uploads/2010/08/02DigitalMorphogenesis.pdf> (z dnia 12.06. 2012).
- [6] G. Lynn, *Architectural Curvilinearity, The Folded the Pliant and the Supple*, AD, Academy Press, London 1993.
- [7] P. Schumacher, *Rational in Retrospect – Reflections on the Logic of Rationality in Recent Design*, AA Files Annals of the Architectural Association School of Architecture, 1999 on line <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Rational.htm> (z dnia 12.06.2012).