



## TRENDY W ARCHITEKTURZE CYFROWEJ

### TRENDS IN DIGITAL ARCHITECTURE

**Emanuel Czernik**

mgr inż. arch.

#### STRESZCZENIE

Architektura stoi u progu zupełnie nowej ery – ten etap to wręcz nowy paradygmat. Organiczne formy, wbrew szeroko panującej opinii, to nie trend formalny, lecz cyfrowo wygenerowana optymalizacja. Artykuł jest wstępem do rozważań związanych z architekturą cyfrową – traktuje o jej potencjale, możliwościach i ograniczeniach. Nowe cyfrowe technologie w architekturze to potężne narzędzie i olbrzymia odpowiedzialność.

Słowa kluczowe: cyfrowa architektura, projektowanie komputacyjne, generatywne.

#### ABSTRACT

Architecture is at the threshold of an entirely new era – this moment is indeed a new paradigm. Organic forms, contrary to a widely popular opinion, are not formal activities, but digitally generated optimization. This article is an introduction to new digital architecture – about its potential, possibilities and limitations.

Key words: digital architecture, computational, generative design.

#### PROBLEMATYKA

Architektura, jako profesja niechętnie ulega trendom. Architekci, jak zauważył William J. Mitchell, rysowali to, co potrafili wybudować i budowali to, co potrafili narysować<sup>1</sup>. Ewolucja cyfrowa lat 80-tych, rozpowszechniając pakiety CAD (Computer Aided Design - Projektowanie Wspomagane Komputerowo), umożliwiła projektantom efektywne rysowanie i edycję obiektów dwuwymiarowych. Przejście z „analogowego” rysowania do cyfrowego

---

<sup>1</sup> William J. Mitchell: Roll Over Euclid: How Frank Gehry Designs and Builds. Guggenheim Museum Publications, 2001. Strony 352-363.

medium w stosunkowo niedługim czasie, stało się faktem. Nowa platforma usprawniła proces projektowy. Nie wprowadziła jednak do skomplikowanego świata architektury (zaangażowanego w dyskursy natury teoretycznej i formalnej), bogactwa nowego medium, które zostało szybko wchłonięte przez przemysł samochodowy i lotniczy. Płaski cyfrowy rysunek stał się niczym innym, jak cyfrową wersją jego wcześniejszej „analogowej” formy, a co może ważniejsze – budynki tworzone ręcznie i cyfrowo w ogóle się od siebie nie różniły.

Pod koniec lat 80-tych Graphisoft jako pierwszy komercyjnie wprowadził koncepcję Wirtualnego Budynku - „Virtual Building” - opartego na teorii BIM („Building Information Model”). Programy BIM zakładają przechowywanie informacji w centralnej bazie danych – zmiana dokonana w jednym miejscu powoduje aktualizację innych rysunków, zestawień materiałowych, itp. To był istotny krok w popularyzacji złożonych możliwości nowego sposobu projektowania. Jednak pomimo takiej racjonalizacji i usprawnieniu procesu kreacji, budynki nadal wyglądały tak samo.

Architekt Frank Gehry poszedł krok dalej. Dotychczasowe metody pracy nad złożoną geometrią form przestrzennych, polegające na skanowaniu roboczych, fizycznych modeli, okazały się niewystarczające. Gehry wraz z Gehry Technologies, na bazie zaawansowanego systemu wspomagania komputerowego CATIA<sup>2</sup>, wprowadził na rynek program Digital Project<sup>3</sup>, wspomagający zarówno projektantów jak i koordynatorów projektów. Program w założeniu usprawniał zarówno proces projektowania, jak i ewaluacji budynku. System oparty był na teorii BIM i posiadał zaawansowane moduły parametryczne, wdrożeniowe CAM (design to production / fabrication), analityczne (wykonalność konstrukcyjna / budowlana, kontrola jakości i detekcja kolizji).

Digital Project to jeden z niewielu programów, który umożliwia pracę nad skomplikowanymi projektami. Dla budynków o złożonej geometrii, takich jak np. Galaxy Soho w Pekinie (Zaha Hadid Architects), dokumentacja dwuwymiarowa jest obowiązkowo uzupełniana modelem trójwymiarowym, który – podobnie jak jego papierowa reprezentacja - jest pełnowartościowym dokumentem kontraktowym.



Ryc. 1. Zdjęcie pokazujące ukończoną strukturę Unikabeton. Źródło: <http://www.digitalcrafting.dk>.

Fig. 1. Picture showing formed structure of Unikabeton. Source: <http://www.digitalcrafting.dk>.



Ryc. 2. Zdjęcie pokazujące proces formowania konstrukcji. Źródło: <http://en.aarch.dk>.

Fig. 2. Podpis w języku angielskim. Source: <http://en.aarch.dk>.

Robin Evans w „Translation from drawing to building”<sup>4</sup> pisze o przepaści między architektem i jego wizją a budynkiem – finalnym efektem jego pracy. Dotychczasowe osiągnięcia

<sup>2</sup> CATIA - Computer Aided Three Dimensional Application – program początkowo używany w przemyśle lotniczym, samochodowym oraz stoczniowym.

<sup>3</sup> Digital Project™ firmy Gehry Technologies to platforma do gromadzenia informacji o budynku i zarządzania nim w oparciu o silnik CATIA firmy Dassault Systems.

<sup>4</sup> Robin Evans: Translation from Drawing to Building, w szerszym opracowaniu Translations from Drawing to Buildings and Other Essays. Cambridge: MIT Press, 1997.

dążące do usprawnienia procesu projektowego są znaczące, jednak nadal niewystarczające. Cyfrowa fabrykacja, produkcja wspomagana komputerowo, projektowanie generatywne i parametryczne - te wszystkie procesy to nowy, energicznie rozwijający się paradygmat w architekturze. To szansa na bardziej racjonalne, ekonomiczne i ekologiczne projektowanie. To szansa na stworzenie właściwej komunikacji pomiędzy architektem a wykonawcą, pomiędzy projektem i produkcją.

## PRZEDE WSZYSTKIM OPTYMALIZACJA

Projektowanie komputacyjne<sup>5</sup>, parametryczne<sup>6</sup> i generatywne<sup>7</sup> to tematyka bardzo prężnie rozwijająca się zarówno w ośrodkach akademickich, jak i pracowniach projektowo-konsultingowych. Wspomaganie komputerowe oparte na specjalnie do tego celu pisanych skryptach, było szerzej eksplorowane w przemyśle samochodowym i lotniczym. Dzisiaj coraz częściej pojawia się w kontekście optymalizacji geometrii form przestrzennych. Wytworzenie formy może być tańsze, o ile zastosuje się odpowiednie techniki racjonalizacji.

Przykładem takiego działania jest badanie naukowe Unikabeton<sup>8</sup>, przeprowadzone przez Aarhus School of Architecture przy udziale reprezentantów Duńskiego Przemysłu Budowlanego. Efektem ich współpracy była seria żelbetonowych prototypów poddanych odpowiednio wcześniej topologicznej optymalizacji formy odlewniczej (frezowanie CNC<sup>9</sup>). Eksperyment udowodnił, że zoptymalizowany konstrukt, przy identycznych parametrach wytrzymałościowych, zaoszczędził 60-70% materiału w porównaniu do jego masywnych ekwiwalentów.

Innym przykładem badań optymalizacyjnych przeprowadzonym przez ośrodki naukowe może być Research Pavilion ICD/ITKE - tymczasowy pawilon naukowy wykonany przez Instytutu Projektowania Komputacyjnego (Uniwersytet Stuttgart). Celem eksperymentu była demonstracja najnowszych osiągnięć w projektowaniu komputacyjnym opartym na właściwościach materiałowych obiektów (w tym przypadku sklejki drewnianej), symulacji materiałowej oraz procesach produkcji. Rezultatem eksperymentu była elastyczna struktura, w całości wykonana z pasów sklejki ciętych laserowo. W trakcie ewaluacji obiekt

<sup>5</sup> „(...) Projektowanie komputacyjne, poprzez użycie różnych technik takich jak algorytmy genetyczne i sztuczna inteligencja, razem z metodą elementów skończonych, lub innymi technikami optyimizacyjnymi, może pomóc zdefiniować problem projektowy w zupełnie inny sposób i znaleźć nową, często zaskakującą odpowiedź. Czy jest to problem czysto geometryczny, tak jak panelizacja podwójnie zakrzywionych powierzchni, czy też strukturalny, jak minimalizacja stresów w przestrzennej kratownicy, z pomocą mogą przyjść programy lub skrypty pisane w różnych językach oraz narzędzia do modelowania parametrycznego, takie jak Generative Components oraz Rhino Grasshopper. Modelowanie parametryczne pozwala na definiowanie hierarchicznych zależności pomiędzy obiektami geometrycznymi zamiast statycznego układu brył w przestrzeni, do którego przyzwyczajone są osoby korzystające z bardziej standardowych narzędzi CAD. Modelowanie parametryczne, które pozwala na szybkie przeglądanie wersji potencjalnych rozwiązań, jest dzisiaj coraz powszechniej stosowane w projektowaniu stadionów, wieżowców, części fasad, dachów jak i niewielkich detali konstrukcyjnych (...). Źródło: <http://www.projektowanieparametryczne.pl>.

<sup>6</sup> „(...) Projektowanie parametryczne to proces w którym wynikowa forma jest zazwyczaj jedną iteracją (przebiegiem) informacji geometrycznych przez 'drzewo' hierarchicznych zależności pomiędzy elementami. Po wykonaniu takiej iteracji, otrzymujemy parametryczny model, który jest topologicznie statyczny, możemy za to zmieniać jego geometrię (skalować, rozciągać, manipulować parametrami) (...). Źródło: <http://www.projektowanieparametryczne.pl>

<sup>7</sup> „(...) Projektowanie generatywne to proces w którym forma jest generowana na podstawie wielokrotnych iteracji, zazwyczaj dodawania/odejmowania elementów, lub dzielenia ich na mniejsze pod-elementy. Za narzędzia używane w projektowaniu generatywnym można uznać algorytmy genetyczne, sieci neuronowe, oraz wszystkie algorytmy wykorzystujące procesy symulacji sztucznego życia, takie jak automaty komórkowe, systemy samoorganizujące się, systemy cząsteczek-agentów, oraz pomocniczo systemy bazujące na metodzie elementów skończonych (finite element analysis), takie jak dynamiczna relaksacja (...). Źródło: <http://www.projektowanieparametryczne.pl>.

<sup>8</sup> Materiały konferencyjne. FABRICATE: Making Digital Architecture. Riverside Architectural Press, 2011. Strony 56-61.

<sup>9</sup> Computerized Numerical Control - komputerowe sterowanie urządzeń numerycznych.

poddawany był testom wytrzymałościowym. Natomiast jego ciągle pracująca geometria mierzona skanem 3d<sup>10</sup>.

## CYFROWE WSPOMAGANIE PRODUKCJI

Technologie cyfrowego wspomaganie produkcji dzielą się na technologie addytywne, subtraktywne oraz formatywne<sup>11</sup>. Cięcie laserowe oraz frezowanie CNC, wspomniane w poprzednich akapitach w kontekście optymalizacji, należą do grupy tzw. subtraktywnego cyfrowego wspomaganie produkcji, polegającego na odejmowaniu materiału. Ze względu na niewielkie ograniczenia gabarytowe elementów, jest to technologia dosyć często eksplorowana w architekturze.



Ryc. 3. Ukończony pawilon Research Pavilion ICD/ITKE. Źródło: <http://icd.uni-stuttgart.de>.

Fig. 3. Finalised structure of Research Pavilion ICD/ITKE. Source: <http://icd.uni-stuttgart.de>



Ryc. 4. Zdjęcie pokazujące proces wycinania sklejkę ramieniem robota przemysłowego. Źródło: <http://icd.uni-stuttgart.de>.

Fig. 4. Picture showing the process of cutting plywood with industrial robot arm. Source: <http://icd.uni-stuttgart.de>.

Architekci z pracowni architektonicznej Gramazio & Kohler, jako aktywni uczestnicy życia akademickiego i zawodowego, pracują na pograniczu technologii formatywnej i addytywnej. Swoje logiczne systemy budują za pomocą ramienia robota przemysłowego z modułów, takich jak cegła ceramiczna lub drewniane belki. Ramię robota zostało również użyte do produkcji instalacji architektonicznej Periscope Foam Tower, zaprojektowanej przez Brandon'a Clifforda & Wes'a McGee. Prototyp to zwycięski projekt konkursu 10!Up Competition<sup>12</sup> w roku 2010. Ramię robota, sprzężone z ploterem termicznym (rozgrzany drut tnący) wycięło poszczególne moduły według wcześniej zaprogramowanej trajektorii.

Technologie addytywne polegają natomiast na dodawaniu kolejnych warstw materiału. Najbardziej popularna metoda to szybkie prototypownie (rapid prototyping<sup>13</sup>), zwana również drukowaniem 3d, używająca głównie twardego proszku. Obecnie używane są również inne materiały, takie jak: ABS, poliamid wzmocniony siatką szklaną, poliwęglan, a nawet metale (stal nierdzewna, tytan). Podwyższone właściwości materiałowe druko-

<sup>10</sup> Materiały konferencyjne. FABRICATE: Making Digital Architecture. Riverside Architectural Press, 2011. Strony 22-27.

<sup>11</sup> Źródło: <http://www.projektowanieparametryczne.pl/?p=282>

<sup>12</sup> Źródło: [http://www.10up.yafatlanta.org/10up\\_2010\\_Winners.html](http://www.10up.yafatlanta.org/10up_2010_Winners.html)

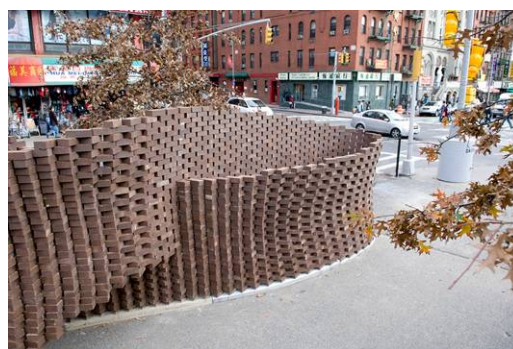
<sup>13</sup> Rapid Prototyping (Szybkie Wykonywanie Prototypów) - określenie zbioru metod służących do szybkiej, precyzyjnej i powtarzalnej produkcji elementów w technologii addytywnej (np. z wykorzystaniem stereolitografii lub drukowania zwykle przy sterowaniu komputerowym).

wanych elementów pozwoliły na stosowanie ich jako docelowych produktów. Dostyc szybko pojawił się pomysł zastąpienia szybkiego prototypowania - szybką produkcją (rapid manufacturing<sup>14</sup>). Technologia ta szybko znalazła zastosowanie w produkcji narzędzi medycznych, w stomatologii. W architekturze zastosowanie tej metody produkcji, było bardziej wymagające, głównie ze względu na skalę planowanych elementów. Jednakże kilka uniwersytetów i firm rozwija wspomniany koncept osiągając pewne sukcesy. Przykładem może być metoda „Contour Crafting<sup>15</sup>” rozwijana przez profesora Khoshnevis'a z placówki badawczej University of Southern California. Wykorzystywanym materiałem do szybkiej produkcji jest specjalny beton. Inne procesy to D-Shape<sup>16</sup> (Monolite UK) oraz Free-form Construction<sup>17</sup>, projekt zainicjowany przez uniwersytet Loughborough.



Ryc. 5. Robot KUKA układający elementy modułarne.  
Źródło: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/forschung>.

Fig. 5. Robot KUKA laying modular components.  
Source: <http://www.dfab.arch.ethz.ch>.



Ryc. 6. Struktura z cegieł wykonana przy pomocy mobilnego robota przemysłowego. Źródło: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/forschung>.

Fig. 6. The structure made of bricks with a hand of mobile robot . Source: <http://www.dfab.arch.ethz.ch>.

## NOWE MATERIAŁY

Technologie addytywne rzucają nowe światło na materiał użyty do kształtowania form przestrzennych i architektury. Neri Oxman, we wstępie do swojej pracy doktoranckiej „Material - based Design Computation”, pisze o rozdźwięku między formą, konstrukcją i materiałem, wprowadzonym do świata kultury przez architekturę modernistyczną. Priorytetyzacja formy nad materiałem oraz dezaprobatą wobec dotychczasowych rozwiązań projektowych, zarówno w kontekście optymalizacji formy architektonicznej, jak i zobowiązań wobec środowiska naturalnego, prowadzi do odrodzenia świadomości projektowania zorientowanego na świat natury. Jej badania oraz wykonywane organiczne prototypy to próba ponownego zdefiniowania materiału – materiału, który będzie pełnił funkcję zarówno konstrukcyjną, nośną, jak i funkcję zewnętrznej powłoki. Prototyp szeszlona „Beast” (Ryc. 7), który wykonała Neri Oxman, to wygenerowana cyfrowo forma przestrzenna, posiadająca zarówno właściwości wspomnianej powłoki zewnętrznej – skóry, jak konstrukcji. Wzór na powłocę nie jest przypadkowy – został wygenerowany komputerowo przy użyciu parametrycznych protokołów. Dzięki temu forma poddana zewnętrznemu naciskowi, zachowuje odpowiednie właściwości i relacje (sztywność i elastyczność).

<sup>14</sup> Rapid Manufacturing - szybkie seryjne wytwarzanie.

<sup>15</sup> Źródło: <http://www.contourcrafting.org/>

<sup>16</sup> Źródło: <http://d-shape.com/cose.htm>

<sup>17</sup> Źródło: <http://www.buildfreeform.com/>



Ryc. 7. Bio-inspirowany prototyp szeszlona. Źródło: <http://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/projects>.

Fig. 7. Bio-inspired Prototype for a Chaise Lounge. Source: <http://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/projects>.



Ryc. 8. Rękawiczka drukowana sproszkowanym tytanem. Źródło: <http://www.economist.com>.

Fig. 8. Glove printed in titanium. Source: <http://www.economist.com>.

Technologia addytywna jest coraz szerzej stosowana w przemyśle lotniczym. Naukowcy z Airbus'a od lat stosowali drukowanie trójwymiarowe do prototypowania elementów samolotu poddawanych testom w tunelach aerodynamicznych. Takie rozwiązanie było o wiele szybsze i tańsze niż konwencjonalne metody. Z czasem, twardej proszek można było zastąpić lekkimi kompozytami z włókna szklanego a nawet sproszkowanym tytanem. Elementy produkowane przez naukowców stały się nie tylko prototypami masowo produkowanych części, ale docelowymi fizycznymi produktami. Według Terry'ego Wohlers'a, 20% wydruków drukarki trójwymiarowej, to ostateczne produkty, a nie prototypy. Przewiduje on, że ta liczba może wzrosnąć nawet do 50% do 2020 roku. Tak duże zainteresowanie w tej materii podyktowane jest względami ekonomicznymi - ale nie tylko. To przede wszystkim względy ekologiczne, a co za tym idzie redukcja emisji dwutlenku węgla. EADS Innovation Works, grupa budująca Airbusy pracuje nad technologią, która w niedalekiej przyszłości pozwoli drukować 35 metrowe skrzydła samolotów. To z kolei zrewiduje myślenie o powłoce i strukturze – o formie i funkcji.

Cyfrowe technologie w architekturze to potężne narzędzie i olbrzymia odpowiedzialność. Nowe platformy i programy oferują wiele możliwości, jednak od nas zależy, jak użyjemy ich potencjału. John Tackara, autor inspirującej książki „Na grzbiecie fali. O projektowaniu w złożonym świecie”<sup>18</sup> zauważył, że „projektanci i decydenci powinni działać na pograniczu różnych dyscyplin, bezustannie ucząc się od otaczającego świata”. Korzystajmy więc i róbmy to mądrze.

## TRENDS IN DIGITAL ARCHITECTURE

Architecture as a profession is rather reluctant to trends. Architects, as noted by William J. Mitchell, draw what they build and build what they can draw. Digital Evolution of the '80s has allowed designers to effectively draw and edit 2d objects. The transition from "analog" drawing to a digital medium in a relatively short time became a reality. The new platform has improved the design process.

<sup>18</sup> John Thackara: Na Grzbiecie Fali. O Projektowaniu w Złożonym Świecie. Wydawnictwo SWPS Academica. 2010.

Unfortunately the complex world of architecture (involved in the discourses of a theoretical and formal nature), didn't encompass the richness of this new medium, medium that was quickly absorbed by the aerospace and automotive industries. Flat digital drawing became nothing but a digital version of its earlier "analog" form and, perhaps more importantly - hand-drawn and digitally drafted buildings were no different from each other.

In the late 80's, Graphisoft introduced the concept of Virtual Building. The concept was based on the theory of BIM (Building Information Model"). This was an important step in popularization of the new medium. Despite the rationalization and improvement of the design process, the buildings still looked the same.

Architect Frank Gehry went a step further. Gehry has launched a program that was based on CATIA - Digital Project, which supported both the designers and project coordinators. The system was based on BIM theory, parametric protocols, had build in CAM add-ons, analytical modules, such as: feasibility module, quality control and collision detection modules.

Digital Project is one of the few programs that allows to work on complex projects. For buildings with sophisticated geometry, such as Galaxy Soho in Beijing (Zaha Hadid Architects), the traditional 2d documentation was complemented with the three dimensional file. This 3d model was a part of a contract documentation.

Robin Evans, in his book "Translation from drawing to building," writes about the gap between the architect and the building - the final result of his work. Digital fabrication, computer - aided manufacture, generative and parametric design - all these processes are part of a new growing paradigm in architecture.

Computational design, parametric and generative theme is rapidly developing in both academic centres and design studios. An example of this is the scientific study is Unikabeton, lead by Aarhus School of Architecture with participation of representatives from the Danish Construction Industry. The result of their collaboration was selection of prototypes made of reinforced concrete. The experiment proved that the optimized construct saved 60-70% of the material comparing to its massive equivalents.

Additive technology sheds new light on material used to shape spatial and architectural forms. Neri Oxman, in the preface to her doctoral thesis "Material-based Design Computation" writes about the gap between form, structure and material, introduced to the world of culture by the modernist architecture. Prioritization of form over the material and disapproval with the existing design solutions, both in terms of optimization of architectural form, as well as obligations towards the environment, lead to an awareness of nature-oriented design. Prototype "Beast" (Fig. 7) made by Neri Oxman, is a digitally generated spatial form that has both properties – property of skin and structure. The formula for the form is not accidental and was computer generated by the parametric protocols.

The new digital technologies offer a lot, but in return ask for designer's awareness and responsible actions. John Thackara, author of the inspirational book „In the Bubble. Designing in a complex world“ wisely notes that planners and policy makers need to work closely, constantly learning from the surrounding world.

Therefore, let us learn, and so let us do it wisely.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] William J. Mitchell: *Roll Over Euclid: How Frank Gehry Designs and Builds*. Guggenheim Museum Publications, 2001
- [2] Robin Evans: *Translation from Drawing to Building*, w szerszym opracowaniu *Translations from Drawing to Buildings and Other Essays*. Cambridge, MIT Press, 1997.

- [3] Materiały konferencyjne. *FABRICATE: Making Digital Architecture*. Riverside Architectural Press, 2011.
- [4] Lisa Iwamoto: *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. Princeton Architectural Press, 2009.
- [5] Branko Kolarevic: *Architecture in the Digital Age: Design And Manufacturing*. Taylor & Francis, 2005.
- [6] John Thackara: *Na Grzbiecie Fali. O Projektowaniu w Złożonym Świecie*. Wydawnictwo SWPS Academica. 2010.

### **O AUTORZE**

Autor artykułu jest czynnym architektem. Głównym polem zainteresowań są nowe technologie, nowe media, kultura i biznes – zawsze w kontekście człowieka i architektury.

### **AUTHOR'S NOTE**

The author is an active architect. The main field of interest are new technologies, new media, culture and business – always in the context of human being and architecture.