

MICHAŁ GÓRCZYŃSKI, JAN RABIEJ*

PARADYGMAT CYFROWY – *CONTINUUM* OD PROJEKTU DO REALIZACJI BUDYNKU

DIGITAL PARADIGM – CONTINUUM FROM DESIGN TO PRODUCTION OF A BUILDING

Streszczenie

Artykuł podejmuje problematykę *paradygmatu cyfrowego* w kształtowaniu współczesnej architektury. Nowe horyzonty kreacji w dziedzinie architektury wymagają od jej twórców ścisłej integracji fazy projektowej z procesem fizycznego tworzenia obiektu. Zbieżność procesu projektowego i realizacyjnego w obszarze technik cyfrowych wyznacza jednocześnie nowe perspektywy dla praktyki architektonicznej. Zwiększenie kontroli nad konstruowaniem pozwala na szczegółowe definiowanie rozwiązań dla problemów natury realizacyjnej. Aspekt integracji fazy projektowej z realizacyjną osadzonej w domenie cyfrowej – ogólnie przedstawiony we wstępnej części artykułu – zostanie rozwinięty w oparciu o kilka charakterystycznych przykładów obiektów architektonicznych zrealizowanych w ostatnich latach.

Słowa kluczowe: paradygmat cyfrowy, architektura współczesna

Abstract

This paper investigates the issue of *digital paradigm* for shaping contemporary architecture. New horizons of production in architecture required a tight integration of a design phase with physical constructing. The convergence of the design and production processes embedded in digital technology has determined new perspectives for architectural practice. More technical problems can be solved due to greater level of control over the design. The integration of designing and constructing within digital domain will be explained in the first part of the paper. Next, a few examples of recently realized buildings will be presented as an illustration of the key issue.

Keywords: digital paradigm, contemporary architecture

* Mgr inż. arch. Michał Górczyński, dr hab. inż. arch. Jan Rabiej, prof. PŚl., Wydział Architektury, Politechnika Śląska.

1. Wstęp

Żyjemy w okresie rewolucji cyfrowej. Intensywny postęp technologiczny pociąga za sobą zmiany cywilizacyjne, które dotyczą wszystkich dziedzin aktywności ludzkiej [1]. Rewolucja cyfrowa wywiera znaczący wpływ na dziedzinę architektury, zarówno w jej wymiarze teoretycznym, jak i praktycznym. Najciekawszymi aspektami współczesnej architektury stają się nowe, dostępne perspektywy projektowania i wytwarzania budynków opierając się na procesach i technikach cyfrowych. Współczesna praktyka architektoniczna stymuluje przeobrażenia w pojmowaniu istoty budowli jako idei, projektu, produktu czy przedmiotu kreacji estetycznej. Technologie digitalne umożliwiają bezpośrednią korelację pomiędzy projektowaniem a budowaniem. Zmienia się sposób przekazywania informacji w całym procesie budowlanym. Integracja faz projektowania, analiz, fabrykacji, montażu wokół technologii cyfrowych redefiniuje znane do tej pory relacje pomiędzy koncipowaniem a produkowaniem w budownictwie.

2. Koncepcja paradygmatu

Pojęcie *paradygmat* znajduje wiele autonomicznych zastosowań w różnorodnych obszarach kreowania idei – wzorców – modeli. Thomas Kuhn pracą pt. *The Structure of Scientific Revolutions* opublikowaną w 1962 roku – wprowadza pojęcie *paradygmat* do nauki, jako zbiór pojęć i teorii tworzących podstawy poszczególnych jej dziedzin.

Kuhn wyróżnia dwa podstawowe znaczenia paradygmatu. Pierwsze znaczenie dotyczy sensu socjologicznego i oznacza zbiór przekonań, wartości i technik podzielanych przez członków danej wspólnoty. Kuhn wymienia cztery typowe składniki macierzy dyscypliny naukowej: symboliczne generalizacje, przekonania metafizyczne, wartości teoretyczne i modelowe rozwiązania [2]. z tych 4 elementów modelowe rozwiązania, czyli wzorce, są najważniejszym składnikiem macierzy dyscypliny naukowej. z uwagi na szczególną wagę pojęcia wzorców, Kuhn składnik ten uczynił również swoim drugim rodzajem paradygmatu [2]. w przytoczonej koncepcji definicja paradygmatów brzmi następująco: są to „powszechnie uznawane osiągnięcia naukowe, które w pewnym czasie dostarczają społeczności uczonych modelowych problemów i rozwiązań” [3].

Scharakteryzowaną wyżej definicję paradygmatu zaczęto z powodzeniem stosować także w innych naukach [2]. Co znamienne, sam Kuhn potwierdził istnienie pewnych analogii między sztuką i nauką, co wskazywałoby na uniwersalność jego koncepcji. Pojęcie paradygmatu w kontekście architektury pojawia się w wielu pracach. Autorzy zatem świadomie przejmują kuhnowską koncepcję paradygmatu i próbują ją odnieść do problemów architektury współczesnej.

3. Paradygmat w architekturze

Odkąd architektura wyłoniła się jako autonomiczna dziedzina ludzkiej aktywności, odnotowujemy charakterystyczne postacie *paradygmatów*, definiujących korelacje między konceptualnymi zapisami idei – wzorów-modeli, a formami ich urzeczywistnienia w postaci budowli.

Renesans wyznacza w historii architektury punkt zwrotny krystalizowania się jej autonomii, a jednocześnie obowiązujących w niej paradygmatów. Leon Battista Alberti w swoim dziele *Dziesięć ksiąg o sprawach budownictwa* podkreślał, że architektura powinna być suwerenna w stosunku do konstrukcji. w konsekwencji doprowadziło to do rozdzielenia profesji artystów i architektów od budowniczych i rzemieślników. Dzięki swoim teoriom Alberti stał się zwolennikiem architektów zaangażowanych w projektowanie, ale nie w realizację [4]. Sam mistrz przypisywanym mu budowlom w istocie nadawał kształty architektury rysowanej, które urzeczywistniano często bez jego bezpośredniego udziału. Ten model relacji między architekturą projektowaną a budowaną okazał się symptomem procesu prowadzącego do rozwarstwienia w obszarze architektury. Jej skrajnymi skutkami stały się zjawiska – z jednej strony budowania architektury bez architekta, a z drugiej strony – kreowania architektury rysowanej, pozbawionej zmaterializowanej postaci.

Paradoksalnie realną perspektywę rozłamu między projektowaniem architektury a jej budowaniem wydawały się torować osiągnięcia rewolucji przemysłowej. Reakcją w sytuacji, która zmierzała do redukcji architektury w szereg powtarzalnych produktów „fabrycznej maszyny”, stały się wysiłki intelektualne, których spektakularny wyraz znajdujemy w traktatach Johna Ruskina. Przy utopijności wielu jego postulatów – okazały się one twórczym impulsem zmierzającym do przywrócenia architekturze walorów, w których ścisłej integracji poddane są pierwiastki oryginalnej idei, rzetelnego projektu i warsztatowego kunsztu budowlanego. Echa estetyczno-moralnego paradygmatu Johna Ruskina niewątpliwie wybrzmiewały w założeniach programowych szkoły chicagowskiej czy modernistycznego Bauhausu.

Doktryna modernizmu zainspirowała nowoczesne spojrzenie na architekturę, która uwolniona od historyzującego balastu, staje się obszarem rozwiązywania aktualnych problemów społecznych, technicznych i estetycznych. Niezależnie od wielu istotnych przewartościowań, jakim wciąż poddawane są założenia modernizmu, architektura pozostaje fenomenem kulturowym, w którym dokonuje się intensyfikacja współzależności między kreowaniem idei współczesnych budowli a kroczącymi dokładnie ich śladem procesami realizacyjnymi.

W ciągu ostatnich dwóch dziesięcioleci wykorzystanie komputera w architekturze pozwoliło projektantom lepiej oceniać własne intencje oraz uzyskać większą kontrolę nad projektem. Nowe metody cyfrowe dają szansę na odejście od tradycyjnych sposobów projektowania budynków. Niektórzy autorzy postrzegają to jako zmianę paradygmatu w procesie projektowania i produkcji. Można to określić jako przejście od starego paradygmatu *possible to the real* do nowego *virtual to the actual* [5]. Zgodnie ze stwierdzeniem Stanforda Kwintera: „To co jest najistotniejsze to w odróżnieniu do poprzedniego schematu, gdzie „możliwe” nie miało realności, tutaj wirtualne, może nie być fizyczne, ale jest już całkiem realne” [6]. Manuel De Landa wzmacnia to jeszcze bardziej, zastanawiając nad korzystaniem z oprogramowania do modelowania i możliwości do rekonfiguracji całego procesu projektowania [7]. Paradygmat *possible to the real* rozpoczyna się od stworzenia postaci niematerialnej, która w kolejnych krokach dostaje substrat materialny. w paradygmacie *virtual to the actual* wirtualny projekt posiada od samego początku osadzone w nim informacje o materiale, ciężarze lub technologii montażu. Mario Carpo wskazuje wyraźnie, że technologie CAD/CAM obalają paradygmat Albertiego [8] – a jednocześnie poniekąd nawiązują do paradygmatu Ruskina – na nowo łącząc obszar projektowania i wytwarzania w architekturze.

4. Paradygmat cyfrowy

Szeroki transfer osiągnięć związanych z domeną cyfrową, dostarczających społeczności architektów nowych narzędzi do rozwiązywania problemów w obrębie własnej dyscypliny, pozwala na precyzowanie istoty paradygmatu cyfrowego w architekturze.

Narzędzia cyfrowe, w tym szczególnie technologie CAD/CAM, radykalnie zmieniły praktykę architektury. Głębokie zmiany dotknęły projektowania, budowania, ale także sposobu myślenia o budynku. Dzisiaj procesy informatyczne jednocześnie generują i realizują formy architektoniczne. Szczególnie interesujące wydaje się zestawienie różnych zjawisk – w tym koncepcji, technik i strategii – składających się na paradygmat cyfrowy w kształtowaniu formy przestrzennej. Aspekty te można pogrupować w odniesieniu do dwóch fundamentalnych faz kształtowania obiektu architektonicznego. Pierwszą fazą jest geneza formy, czyli powstawania kształtu, drugą fazę stanowi etap jej fizycznego budowania. Poniżej wymieniono główne aspekty mające istotny wpływ na kształtowanie współczesnej formy przestrzennej.

Geneza formy:	Produkcja formy:
topologia geometria nie-euklidesowa NURBS parametryczność dynamika i pola sił metamorfoza genetyka architektura wydajnościowa	fabrykacja dwuwymiarowa fabrykacja subtraktywna fabrykacja addytywna fabrykacja kształtująca montaż strategie płaszczyzn strategie produkcyjne nowe materiały

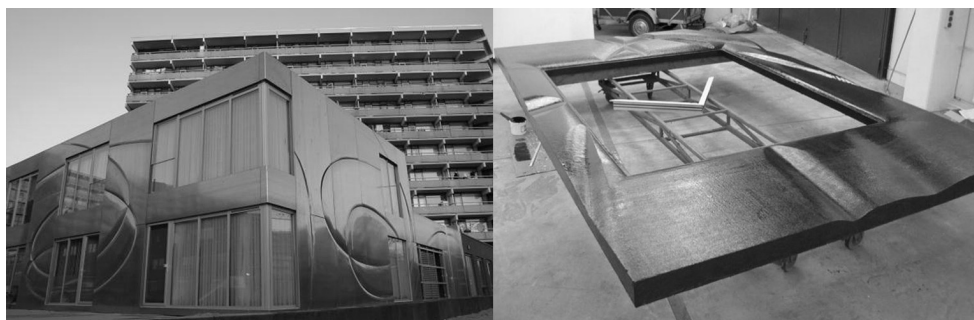
5. Cyfrowe *continuum* – wybrane przykłady

Zmiany zachodzące w procesie tworzenia współczesnej architektury wyprzedzają przewartościowania dokonujące się w jej warstwie formalnej. Zbieżność procesu projektowania i wykonawstwa w zintegrowanym obszarze domeny cyfrowej stanowi o potencjale zmieniającym warsztat zawodu architekta, co w konsekwencji wywołuje również istotne przeobrażenia w przemyśle budowlanym. Znaczna część światowej produkcji przemysłowej – od artykułów codziennego użytku po wyrafinowane samoloty – jest projektowana i wytwarzana w procesie łączącym etapy projektowania, analizy, reprezentacji, fabrykacji i montażu opartym na technologiach cyfrowych. Kolarevic określa ten proces mianem *cyfrowego continuum* (*digital continuum*) [9]. Należy zauważyć, że chęć tworzenia geometrycznie złożonych form zmusiła architektów do pełniejszego zaangażowania w proces fizycznego tworzenia obiektu, dając im jednocześnie więcej kontroli nad całym przedsięwzięciem. Zwiększenie kontroli nad konstruowaniem wynika z faktu, że dane projektowe stają się danymi konstrukcyjnymi dzięki procesom wydobywania i wymiany danych.

Wybór przykładów ilustrujących problem cyfrowego *continuum* ograniczono do 3 obiektów. Kryterium wyboru była różna funkcja, specyfika i skala obiektów. Wspólnym mianownikiem przytoczonych realizacji jest natomiast niestandardowy sposób, w jaki architekci prowadzili proces projektowy oraz realizacyjny.

Nazwa: *F-Zuid*; Projekt: *ONL* [Oosterhuis_Lénárd]; Lokalizacja: *Amsterdam*, (Holandia); Data: 2007

Bryła zespołu szeregowej zabudowy jednorodzinnej została zaprojektowana jako płasko-rzeźba pokryta intuicyjnym szkicem autorstwa Ilony Lénárd. z uwagi na sąsiedztwo wysokich budynków oryginalna intencja projektantów objęła wszystkie elewacje oraz płaszczyznę dachu. Natura trójwymiarowego szkicu opiera się na idei kaligrafii oddanej w formie przestrzennej. Każdy początkowy ruch „pędzla” jest miękki i płytki (2 cm), aby następnie stopniowo stać się twardszym i głębszym (5 cm). w skali urbanistycznej zabudowa uzyskała niepowtarzalny charakter, gdzie każdy segment mieszkalny posiada niepowtarzalny wzór elewacji. Większość zaprojektowanych paneli elewacyjnych ma te same wymiary ogólne, podobnie jak wielkość otworów okiennych. Rysunek szkicu został sparametryzowany za pomocą oprogramowania ProEngineer i stanowił podstawę komunikacji pomiędzy projektantem a wytypowanym producentem paneli. Każdy panel elewacyjny ma swój wzór, który otrzymano w procesie cyfrowej fabrykacji opartej na technologiach CNC. Parametryczny proces projektowy opierał się głównie na określaniu relacji geometrycznych opisujących trajektorię szkicu, siłę nacisku i jego szerokość. Fasadę ostatecznie wykonano z kształtowanych na zimno arkuszy blachy aluminiowej o gr. 6 mm. Przy wykorzystaniu technologii do produkcji statków i na podstawie procesu *file 2 factory*, dokonano prefabrykacji wszystkich paneli przewidzianych na pokrycie elewacji. Cała geometria fasady zawierająca przestrzeny relief została rozwinięta na płaszczyznę dwuwymiarową za pomocą systemu NUPAS-CADMATIC. Płaszczyzny wynikowe zawierały dodatkowo obrys każdego panelu, którego część stanowiły oraz dokładne miejsca otworów montażowych. z tak przygotowanych płaskich arkuszy powycinano indywidualne elementy. w ostatnim kroku poszczególne kształty zostały wygięte na zimno do ostatecznej formy oraz przygotowane do montażu na elewacji niczym wielkoformatowe puzzle.



II. 1. Widok elewacji zespołu oraz jeden z prototypów panelu w fazie testowania

III. 1. Facade view and panel mockup testing

Nazwa: *Hills Place*; Projekt: *AL_A* (Amanda Levet Architects); Lokalizacja: *Londyn* (Anglia); Data: 2009

Dostęp do światła dziennego stał się kluczowym aspektem przy projektowaniu przebudowy budynku biurowego zlokalizowanego w ciasnej uliczce przy londyńskiej Oxford Street. Pracownia *AL_A* zaproponowała budynek owinięty w aluminiową skórę, w której umieszczono duże otwory okienne skierowane ku górze. Fasadę o podwójnej krzywiznie uzyskano

dzięki porzuceniu standardowego myślenia o dostępnych środkach budowlanych na rzecz zastosowania technik znanych z przemysłu szklarskiego. Zarówno faza projektowa, jak i realizacyjna opierała się na ścisłej współpracy z firmą na co dzień zajmującą się produkcją łodzi. Fasadę zbudowano z systemu wygiętych profili łączonych na budowie, techniką stosowaną przy produkcji kadłubów statków. Dzięki pofalowanej podwójnej krzywiznie wykonanej z płaskich przekroi architektki uzyskali złożoną geometrycznie elewację. Fasada składa się z 1500 wykonanych na zamówienie profili aluminiowych szerokich na 14 cm i długich na 7 m. Ich krzywiznę uzyskano dzięki gięciu na zimno oraz sprawdzaniu i dopasowywaniu do formy pozyskanej metodą CNC. Elementy fasady połączono w systemie pióro i wpust, co w połączeniu z gumowymi uszczelkami stworzyło wodoodporną przegrodę budowlaną. Poszczególne profile układano na miejscu, zaczynając od ostatniego piętra, ale w kolejności od dołu do góry z uwagą na naturę nakładania się ich na siebie. Architekci z powodzeniem zaadoptowali system, w którym panele montuje się od wewnątrz, tworząc zmodyfikowany system zapinany od zewnątrz. Model 3D stanowił istotny element współpracy pomiędzy projektantem i wykonawcą. Rzeźbiarskie ukształtowanie obudowy otworów okiennych zrealizowano w oparciu o technologię CNC. Uźbrowane ramy wycięto z drewna i pokryto 6-milimetrową warstwą giętkiej sklejki. Obszary, które wymagały szczególnego dopasowania, wykonano z ręcznie formowanego styropianu. Całą powierzchnię pokryto następnie warstwą włókna szklanego, tynkiem i wyprawą, uzyskując gładką, wytrzymałą i jednolitą płaszczyznę.



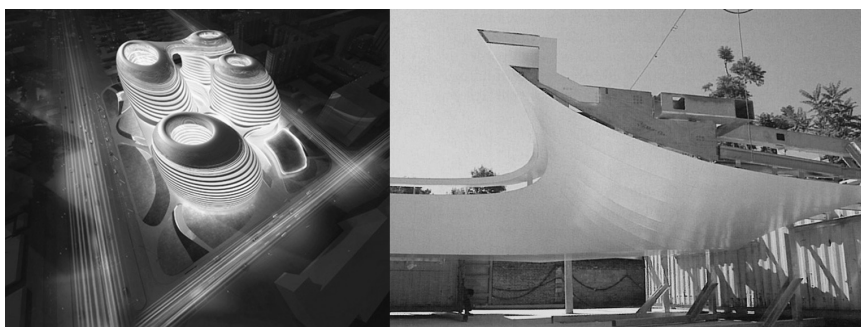
II. 2. Widok elewacji oraz testowanie rozwiązań szczegółowych

III. 2. Facade view and detailed mockup testing

Nazwa: *Galaxy SOHO*; Projekt: *Zaha Hadid Architects*; Lokalizacja: *Beijing*, (Chiny);
Data: 2012

Cztery wieże o owalnym kształcie, płynnie połączone pomostami tworzą jedną bryłę obiektu o funkcji typu „mixed-use”. w początkowej, konceptualnej fazie, projekt opracowano przy wykorzystaniu techniki podziału powierzchni w programie Maya. Otrzymano dzięki temu geometrię nadrzędną (*master geometry*) stanowiącą wytyczną dla dalszego opracowywania projektu. Geometria nadrzędna stanowiła podstawę procesu koordynacji projektu na podstawie oprogramowania CATIA/Digital Project. Kolejne kształty, takie jak: obrys stropów, geometrię fasady i powierzchnie okładzin definiowano w kolejnych stadiach bezpo-

średnio z geometrii głównej. Fasadę otrzymano w wyniku przecinania kształtu nadrzędnego poziomymi płaszczyznami. w wyniku tej operacji otrzymano geometrię o podwójnej krzywiznie, którą należało poddać procesowi optymalizacji i racjonalizacji. Dokonano tego w kilku etapach, opierając się na parametrycznym modelu cyfrowym. Pierwszym krokiem była zamiana skomplikowanej krzywizny na panele o powierzchni rozwijalnej. Drugi krok stanowiła zamiana jak największej ilości paneli na powierzchnie stanowiące wycinki powierzchni stożkowych. Trzeci krok obejmował znalezienie wspólnych cech wszystkich paneli tak, aby można je było pogrupować we wspólne typy i zastosować w wielu miejscach projektu. Czwartym krokiem była redukcja ogólnej liczby typów paneli, uzyskana dzięki optymalizacji cech geometrycznych, właściwości fizycznych materiału oraz możliwości produkcyjnych wykonawcy. Ostateczny projekt fasady zawierał panele płaskie, jednokrzywiznowe i dwukrzywiznowe, co uniemożliwiało ich przedstawienie za pomocą płaskich rysunków. w rezultacie opracowano precyzyjny model 3D BIM, który łącznie z rysunkami konwencjonalnymi stanowił dokumentację wyjściową dla ubiegających się o zlecenie wykonawców. Od oferentów, oprócz standardowych dokumentów przetargowych, wymagano zbudowania serii prototypów fragmentu fasady w skali 1:1, aby móc zbadać zachowanie różnych materiałów, problemy wykonawcze oraz aspekty estetyczne.



II. 3. Widok ogólny założenia oraz makieta fragmentu elewacji

III. 3. Aerial view and facade mockup

6. Wnioski

1. Komputerowo wspomagane procesy projektowania i wytwarzania umożliwiły bezpośrednie przekładanie wirtualnych kreacji na obiekty fizyczne, i dlatego przyciągnęły uwagę wielu architektów.
2. Dostępne techniki produkcyjne pozwalają na projektowanie budynków, celebrując ich strukturalną czystość, materiałowość i wyrafinowany detal. Integracja projektowania, analiz, wytwarzania i montażu w obrębie domeny cyfrowej ujawnia potencjalne możliwości redefiniowania relacji pomiędzy konceptowaniem i realizowaniem budynków.
3. Proces projektowania i wytwarzania może być bezpośredni i złożony dzięki wymianie informacji pomiędzy architektem i wykonawcą.
4. Najnowsze postępy w technologiach projektowania i fabrykacji, w szczególności pisanie kodów (*scripting*), modelowanie asocjacyjne, BIM (*Building Information Modeling*)

oraz fabrykacja CAD/CAM, zmieniają fundamenty praktyki architektonicznej. Prawdziwa zmiana nie dokona się jednak bez udziału wyobraźni architekta oraz silnego myślenia konceptualnego. Prawdziwą siłę nowych technik można w pełni wykorzystać jedynie opierając się na kreatywnym i intelektualnym rygorze, w rezultacie którego mogą powstać autentycznie innowacje.

5. Przytoczone przykłady potwierdzają obserwację, że dzisiejsza architektura wymaga wyjątkowej integracji projektowania i wykonawstwa. w większości znaczących realizacji na świecie problemy wykonawcze testuje się i rozwiązuje już na etapie projektowania. Niemal obligatoryjnym etapem staje się faza prototypowania, w której sprawdza się przyjęte założenia. Rozwiązania budowlane oparte na indywidualnie opracowanych technologiach, otrzymać można jedynie we współpracy pomiędzy projektantem, producentem i wykonawcą.

Literatura

- [1] G o b a n - K l a s T., S i e n k i e w i c z P., *Spoleczeństwo informacyjne: szanse, zagrożenia, wyzwania*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1999.
- [2] J o d k o w s k i K., *Wspólnoty uczonych, paradygmaty i rewolucje naukowe*, Lublin 1990.
- [3] K u h n T.S., *Struktura rewolucji naukowych*, Warszawa 2001.
- [4] G a r b e r R., *Alberti's Paradigm*, w: *Architectural Design* 79 (2), 2009.
- [5] G a r b e r R., J a b i W., *Control and collaboration: digital fabrication strategies in academia and practice*, w: *International Journal of Architectural Computing* 4 (2), 2006.
- [6] K w i n t e r S., *Architectures of Time: Toward a Theory of the Event in Modernist Culture*, MIT Press, Cambridge 2001.
- [7] D e L a n d a M., *Philosophies of Design: The Case of Modeling Software*, w: *Verb Processing: Architecture Boogazine*, Actar Press, Barcelona 2002.
- [8] C a m p o M., *Non standard morality: digital technology and its discontents* w: *Architecture between spectacle and use*, Yale University Press, New Haven 2008.
- [9] K o l a r e v i c B., *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Francis & Taylor Group, New York 2003.