

# MATERIAŁY BUDOWLANE

MIESIĘCZNIK  
TECHNICZNO-EKONOMICZNY

technologie • rynek • wykonawstwo

9 / 2011

cena 20,48 zł  
(w tym VAT 5%)

ISSN 0137-2971



ISSN 0137-2971



CERAMIKA PARADYZ



PARADYZ

dr inż. arch. Maria Helenowska-Peschke\*

# Materiały i fabrykacja w kontekście paradygmatu cyfrowego w architekturze

Jednym z najistotniejszych czynników kształtujących współcześnie teorię i praktykę architektoniczną są technologie cyfrowe. Boom informatyczny w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku stworzył technologiczne i ekonomiczne warunki do rewolucyjnych zmian w metodach projektowania i produkcji (narzędzia CAD/CAE/CAM) w wielu dziedzinach. Ze względu na swą odmienność (duża skala i finansochłonność wytwarzanego produktu) najbardziej oporna na przyjmowanie nowości pozostawała architektura. Nawet dekadę później „akademy” i „praktycy” pogrążali się w ideologicznych i tautologicznych debatach, poruszając się w wirtualnej przestrzeni odległej od fizycznych realizacji. Przez wiele lat w praktyce architektonicznej skrót CAD oznaczał raczej Computer Aided Drafting (z ang. komputerowe wspomaganie kreślenia) niż Computer Aided Design (z ang. komputerowe wspomaganie projektowania). Pierwsze programy CAD umożliwiały projektowanie obiektów składających się z płaskich powierzchni i służyły przede wszystkim do prezentacji koncepcji, która wcześniej powstała w wyobraźni architekta. „Wielu innych architektów, jednakże, zaledwie dotyka cyfrowych możliwości, chowając się za grafiką generowaną komputerowo, zadowolając się umalowywaniem wirtualnych obrazków swoich budynków cyfrową szminką, w nadziei na uwiedzenie klienta, traktując komputer jak cudowny aerozol. Nie osiągnęliśmy jeszcze statycznego gruntu w rozwoju technologicznym, który stanowiłby dla architektów-akademików odniesienie do jego zastosowań w architekturze (M. Novak, 1998).

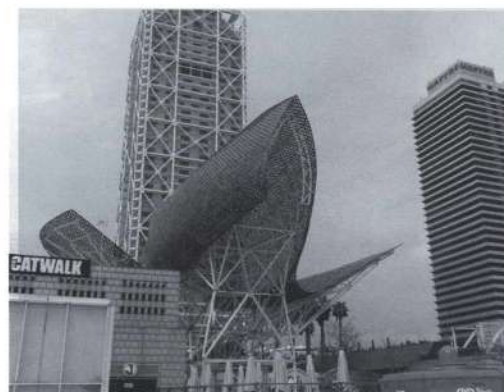
W połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku dzięki rozwojowi intuicyjnych i wygodnych narzędzi do generowania

zaawansowanej geometrii wzrosło znaczenie programów komputerowych we wczesnej, koncepcyjnej fazie projektowania architektonicznego. Dynamiczne, swobodne formy stanowiące wyzwanie dla racjonalnej estetyki modernizmu zyskały spore zainteresowania wśród architektów i designerów na całym świecie. Komputerowe programy graficzne (często należące do świata gier i filmu) umożliwiały tworzenie obiektów o organicznych kształtach, jednak w całkowitym oderwaniu od rozwiązań materiałowych i technologii wykonawczych.

## Cyfrowe wspomaganie wytwarzania

Krzywoliniowe formy obiektów, które zaczęły powstawać na monitorach komputerów we wczesnych latach dziewięćdziesiątych XX wieku, stanowiły marzenia bez możliwości realizacji. Sytuacja uległa zmianie, gdy awangardowi architekci sięgnęli po zaawansowane techniki projektowania cyfrowego – parametrycznego i algorytmicznego łączące etap projektowania z cyfrową fabrykacją. Narzędzia programowe umożliwiają rozłożenie wielokrzywiznowych form architektonicznych na możliwe do wyprodukowania komponenty.

Nowy paradygmat cyfrowy w praktyce architektonicznej zapoczątkował Frank O. Gehry, realizując metalową formę „Ryby” z okazji Olimpiady w Barcelonie w 1992 r. (fotografia 1). Był to prawdopodobnie pierwszy przypadek, gdy model wirtualny opracowany w programie komputerowym CATIA (używanym w przemyśle lotniczym) został użyty do wytworzenia elementów konstrukcji obiektu w skali architektonicznej za pomocą maszyn CNC. Potencjał cyfrowego wspomaganie wytwarzania w architekturze ciągle się rozwija. Drukarka budowlana d-shape angielskiej firmy Monolite Ltd. jest prze-



Fot. 1. „Ryby”, Frank O. Gehry, Barcelona, 1992 r.

Fot. Autorka

znaczona do stereolitografii (druk 3D) w dużej skali. Maszyna wykorzystuje wszelkiego typu piaski, pyły lub żwir, które wiąże za pomocą organicznego spoiwa. Budulec jest nie do odróżnienia od prawdziwego marmuru, a ponadto całkowicie ekologiczny. Poddany testom na rozciąganie i zginanie wykazuje właściwości lepsze od betonu, dzięki czemu nie wymaga zbrojenia. Być może niedługo d-shape umożliwić będzie stereolitografię całych obiektów budowlanych lub struktur konstrukcyjnych. Pierwszym w historii przykładem zastosowania druku 3D była Radiolaria (fotografia 2).

W ostatnich 10 – 15 latach wiele pracowni i ośrodków edukacyjno-badawczych eksplorowało potencjał zaawansowanych technik projektowania cyfrowego i cyfrowej fabrykacji w architekturze. W domenę architektury obok programistów wkroczyli specjaliści łączący zagadnienia związane z programowaniem, materiałoznawstwem, technologiami fabrykacji. Obecnie niewiele światowych biur architektonicznych może pozwolić sobie na pomijanie zaawansowanych technologii cyfrowych, które jeszcze do niedawna stanowiły domenę nielicznych nowatorskich architektów.

\* Politechnika Gdańska



Fot. 2. Radiolaria – dwumetrowej wysokości monolityczny piaskowiec wykonany za pomocą drukarki d\_shape (źródło: <http://d-shape.com/>)

### Wynalazczość materiałowa

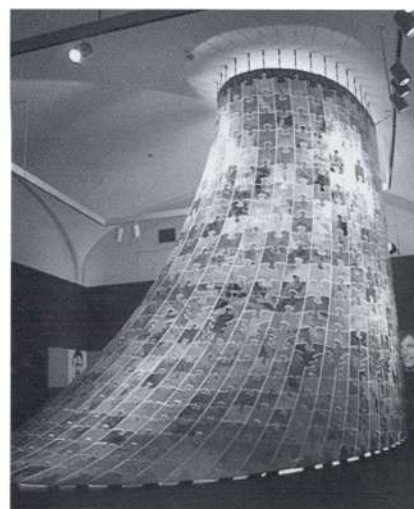
Postępowi w cyfrowym wspomaganiu wytwarzania towarzyszą badania nad nowoczesnymi materiałami. W ostatnich latach na rynek budowlany weszły włókna szklane, polimery i pianki. Dzięki swojej lekkości, wytrzymałości i łatwości formowania nadają się idealnie do tworzenia tak modnych obecnie strukturalnych skorup o krzywoliniowej geometrii. Włókno szklane formowane w płynnej postaci może dostosować się do każdego kształtu.

Dobry przykład znaczenia materiału w przekazie idei architektonicznej stanowi zrealizowana w 2006 r. Pływalnia Olimpijska w Pekinie zwana Kostką Wody (Wodnym Sześciannem) zaprojektowana przez PTW Architects, CSCEC+Design, Arup w 2006 r. Sieciowa konstrukcja stalowych rurowych elementów jest wypełniona jakby napompowanymi przezroczystymi, poduszkowatymi komponentami z ETFE (polietylen-co-tetrafluoroetylen). Efekt materiałowy tej półprzezroczystej, białej, podobnej do baniek powłoki jest eteryczny i sprawia wrażenie zanurzenia w gigantycznej strukturze z piany.

Materiały kompozytowe powszechnie stosowane w przemyśle samochodowym, lotniczym i jachtowym znalazły również swoje miejsce w bu-

downictwie. W wyniku cyfrowej produkcji warstwa po warstwie powstają materiały heterogeniczne o różnej charakterystyce zarówno powierzchni, jak i pracy przekroju. W stosunku do nich często stosuje się określenia adaptive (z ang. adaptacyjne), inteligentne, smart (z ang. zmysłne). Istotną cechą kompozytów pod kątem zastosowania w architekturze jest możliwość precyzyjnego zaprojektowania ich właściwości i efektów materiałowych przez cyfrową kontrolę procesu produkcji (np. różna gęstość włókien dająca różnice w transparentności i wyglądzie). Kompozyty zmieniające właściwości pod wpływem zewnętrznych lub wewnętrznych czynników, takich jak światło, temperatura, mechaniczne obciążenia znalazły zastosowanie w wielu realizacjach. Za przykład może posłużyć projekt z 2004 r. biura LA Defense w Almere w Holandii, autorstwa UN Studio. Na fasadzie budynku po raz pierwszy wykorzystano panele z polichromicznego, laminowanego szkła. Dzięki zastosowaniu cienkiej warstwy refleksyjnej pomiędzy dwiema warstwami szkła uzyskano efekt zmiany koloru w zależności od kąta padania światła. Elewacja budynku zmienia swój wygląd, przybierając w ciągu dnia całe spektrum kolorów, od żółtego do niebieskiego i czerwonego i od purpurowego do zielonego.

Niedawno węgierska firma LiTraCon wypuściła na rynek półprzezroczysty beton, a amerykańska firma 3form Inc. półprzezroczysty metal i drewno. Materiały te burzą tradycyjnie przypisaną im symbolikę i oczekiwania wobec tego, jak powinny się zachowywać. Przykład nietypowego zastosowania używanego od stuleci kamienia stanowi instalacja Marble Curtain (z ang. marmurowa kurtyna) autorstwa Studio Gang Architects zademonstrowana w 2004 r. w National Building Museum w Waszyngtonie w ramach wystawy Masonry Variations (fotografia 3). Niezwykłość tej instalacji polegała na niespotykanym wcześniej sposobie wykorzystania kamienia (w połączeniu z polimerami), który poddany został naprężeniom rozciągającym. Instalacja stanowiła lekką konstrukcję marmurowej kurtyny podwieszanej do stropu galerii za pomocą w cementowanych aluminiowych kotew murar-



Fot. 3. Marmurowa kurtyna, Studio Gang Architects, National Building Museum, Waszyngton, 2004 r. (źródło: [www.aiachicago.org/special\\_features/2004DEA/image\\_popup.asp?regID=24&num=1](http://www.aiachicago.org/special_features/2004DEA/image_popup.asp?regID=24&num=1))

skich. Trzymały one pierwszy rząd kamiennego łańcucha, do którego podwieszane były kolejne rzędy marmurowych puzzli. Odpowiednio zaprojektowane połączenia między sąsiednimi płytkami umożliwiały przeniesienie naprężeń na kolejne rzędy kamiennych komponentów.

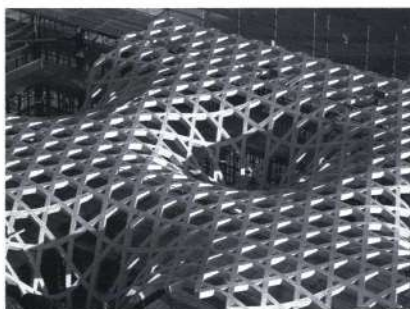
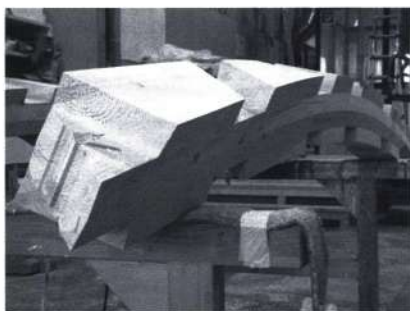
### Masowa indywidualizacja i efekty materiałowe

Wykorzystanie technik parametryczno-algorytmicznych w projektowaniu oraz fabrykacji CNC przyniosło odwrót od modernistycznej idei masowej produkcji (fabryki domów). Opisanie za pomocą kilku parametrów tysięcy różniących się między sobą komponentów umożliwia bowiem produkcję indywidualnie ukształtowanych części z taką samą łatwością jak dawniej produkowano elementy powtarzalne. Bezpośrednie sprzężenie danych opisujących model cyfrowy z procesem fabrykacji stanowi nowy rodzaj standaryzacji. Jako przykład cyfrowej standaryzacji można przywołać projekt dachu nad budynkiem Yeosu Golf Resort autorstwa Shigeru Bana (baldachim ze splecionych drewnianych dźwigarów). Oprogramowanie stworzone przez pracownię Design to Production pomogło stworzyć referencyjny model geometrii dachu i wygenerować trójwymiarowe modele prawie 470 różnych drewnianych komponentów wraz

z detalami ponad 15 000 łączności (fotografia 4).

Produkcja cyfrowa jest istotna, ponieważ umożliwia masową indywidualizację elementów, co pozwala na realizację wielokrzywiznowej geometrii, ale również dlatego, że pozwala na osiągnięcie efektów materiałowych nieosiągalnych w wypadku pracy rzemieślnika. Zarówno płynne, organiczne formy, jak i panele pokryte niepowtarzalnymi reliefami lub perforacjami stanowią konkurencję dla uznanych rozwiązań w architekturze.

Projektanci z Gramazio & Kohler & ETH (Szwajcarski Instytut Technologiczny) z Zurychu, w ramach podjętych badań, testują cyfrowe techniki wytwarzania w kontekście uzyskiwania niestandardowych elementów architektonicznych. Skoro podstawową zmianą w produkcji architektury jest przejście z pracy ręcznej do cyfrowej fabrykacji, jaki jest potencjał projektu jednego z najstarszych i najbardziej rozpowszechnionych materiałów budowlanych, jakim jest cegła? Poszukując odpowiedzi na to pytanie, stworzono algorytmiczne narzędzia do projektowania, które precyzyjnie przyporządkowywały cegłom pozycję w przestrzeni. Algorytmy nie określały geometrii ściany, ale logi-



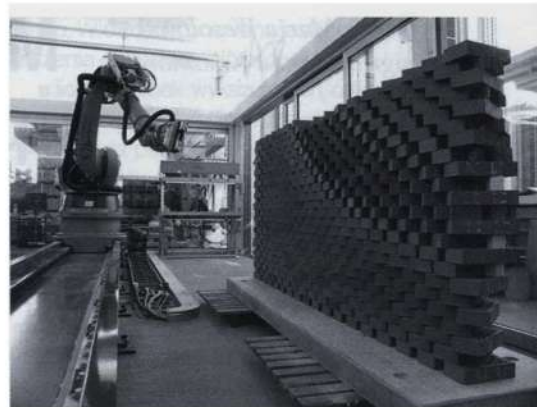
Fot. 4. Elementy konstrukcji dachu, Yeosu Golf Resort, Shigeru Ban, Yeosu, 2008 r., (źródło: <http://pl.urbarama.com/project/yeosu-golf-club>)

kę konstrukcji i służyły do sterowania programowalnym robotem przemysłowym. W przeciwieństwie do murarza, robot ma możliwość położenia każdej z cegieł bez optycznego odniesienia w precyzyjnie określonej pozycji, pod określonym kątem i w określonym oddaleniu, tak jak to zostało zdefiniowane w skrypcie programu. Metoda ta pozwala uzyskać kompleksowe, zawite wzory ścian bez powtórzeń, dające efekt trójwymiarowości i inne efekty plastyczne w zależności od miejsca obserwacji (fotografia 5).

Opracowaną metodę murowania za pomocą robota firma Gramazio & Kohler & ETH wykorzystała przy realizacji fasady winnicy w Gantenbein (Szwajcaria) w 2006 r. Stworzono ścianę, w której każdej z 20 000 cegieł nadano pozycję ściśle wg zaprogramowanych parametrów. Ściana działa jako bufor temperatury i ma za zadanie filtrowanie światła słonecznego wpadającego do pomieszczenia fermentacji. Zdziwienie budzi fakt, że miękkie, okrągłe formy faktycznie składają się z pojedynczych, kanciastych cegieł (fotografia 6).

## Podsumowanie

Awangardowe przedsięwzięcia w architekturze, jak w każdej innej dziedzinie, wymagają czasu, odpowiednich nakładów i dobrze zorganizowanych prac przygotowawczych. Potrzebują miejsca, w których można cyfrowo projektować, konstruować, prototypować i produkować „one-stop shop” (z ang. wszystko w jednym miejscu). Fundamentalna dla nowego paradygmatu jest współpraca architektów ze specjalistami z innych dziedzin, takich jak programowanie, technologia materiałowa, technologie cyfrowego wspomagania fabrykacji. Nowoczesne technologie cyfrowe umożliwiają masową indywidualizację produkowanych elementów bez podnoszenia kosztów budowy, dają dużą swobodę w eksperymentach formalnych, a także pozwalają na zaprojektowanie właściwości materiału pod kątem określonych wymagań funkcjonalnych i plastycznych. Ułatwiają optymalizację dzieła architektonicznego pod względem estetycznym, strukturalnym, funkcjonal-



Fot. 5. Produkcja ściany parawanowej Gramazio & Kohler & ETH, 2006 r.



Fot. 6. Ściana w winnicy w Gantenbein Gramazio & Kohler & ETH (Szwajcaria), 2006 r.

nym, ekonomicznym i środowiskowym. W efekcie wykorzystywania technologii cyfrowych w projektowaniu architektonicznym możliwa jest eksploracja właściwości materiału od najwcześniejszych faz projektowania i podczas całego procesu produkcji. Efekty materiałowe, takie jak wzór, tekstura, reliefy, perforacje, przezroczystość, kolor itd. stają się coraz powszechniejszym sposobem wyrażania idei projektowej. Trudno przewidzieć, kiedy nastąpią zmiany w powszechnej praktyce architektonicznej, ale każda eksperymentalna realizacja pomaga przededefiniować techniki, metody i granice między koncepcją a materializacją.

„Cyfrowy architekt” nie kończy swojej pracy na wręczeniu dokumentacji wykonawcy, ale projektuje z uwzględnieniem specyfiki materiału.

*Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki*