

Archivolta 4(60)2013 4/2013 s. 52-56

Powierzchnia swobodna a materiał

Projektowanie parametryczne w pracowni badawczej studentów WA PP

Tetrahedron i tensegrity

Free surface and the material

Parametric design in the research laboratory conducted by students of the Faculty of Architecture at Poznań University of Technology

Tetrahedron and tensegrity

Adam M. Szymiski

WBiA Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Słowa kluczowe: architektura, projektowanie cyfrowe, powierzchnia swobodna, projektowanie parametryczne, kształt, materiał, wytwarzanie CNC

Keywords: architecture, digital design, parametric design, free surface, shaping, material, CNC fabrication

Streszczenie

Eksperymenty z wieloma parametrami przy jednoczesnym działaniu wielu różnych sił formacyjnych są nadal nowatorskim (w Polsce dotychczas nie stosowanym) przedsięwzięciem – szczególnie gdy chodzi o ocenę zróżnicowanych kryteriów obejmujących cechy przestrzenne, strukturalne, materiałowe oraz cechy wynikające z użytkowania.

Kilka takich eksperymentów dydaktycznych zostało przeprowadzonych na Wydziale Architektury Politechniki Poznańskiej. W nowopowstałej w roku ak. 2012/2013 pracowni badawczo-projektowej „Projektowanie Parametryczne” studenci IV roku studiów magisterskich w semestrze letnim poznawali, pod kierunkiem Krystyny Januszkiewicz i asystenturze Mateusza Zwierzyckiego, tajniki projektowania cyfrowego w bezpośredniej relacji z fizycznymi możliwościami materiału.

Na przykładzie dwóch prac studenckich *Tetrahedron Wall* oraz *Tensegrity Wall* przedstawia się proces projektowo-badawczy elementu architektonicznego o złożonej geometrii. W procesie tym chodziło o określenie zależności pomiędzy cechami geometrycznymi kształtu, a cechami fizycznymi materiału oraz o sporządzenie ich parametrycznego zapisu i modelu cyfrowego, który w systemie CAD/CAM jest konieczny do wytworzenia (fabrykacji) za pomocą robotów CNC. (Podobne zadania wykonywane były w latach 2003-2004 na zajęciach dydaktycznych w Architectural Associations w Londynie.)

Przedstawione prace ukazują nowe podejście do projektowania architektonicznego, zwane dziś tektoniką cyfrową, które wymusza skierowanie uwagi na te aspekty budowlane projektu, które powinny się przekładać na formę już na początku procesu twórczego. Wymusza to zbliżenie się architekta, konstruktora oraz wykonawcy już we wstępnej fazie projektu. Jednocześnie implikuje zmiany w edukacji architektonicznej i potrzebę udoskonalenia narzędzi projektowania.

Abstract

Experiments with multiple parameters with various formative forces applied at the same time are still a novel project (in Poland it has not yet been used) - especially when it comes to assessing different criteria, including spatial, structural and material characteristics and those resulting from the use.

Several such educational experiments were carried out at the Faculty of Architecture at Poznań University of Technology. In the research and project laboratory “Parametric Design”, newly established in the academic year 2012/2013, in the spring semester, under the supervision of Krystyna Januszkiewicz and assisted by Mateusz

Zwierzycki, the fourth-year graduate students learned ins and outs of digital design in a direct relationship with the physical possibilities of the material.

Two students' works Tetrahedron-Wall and *Tensegrity Wall*, are examples of the presented design and research process of an architectural element of a complex geometry. This process meant to determine the relationship between the geometric characteristics of a shape and physical characteristics of the material, as well as to prepare their parametric record and a digital model which in the CAD/CAM system is necessary for the fabrication using CNC robots (similar tasks were carried out in the years 2003-2004 during classes in Architectural Association in London).

The presented works show a new approach to architectural design, today called digital tectonics, which forces directing attention to those construction aspects of the design, which should be converted into the form right at the beginning of the process of creation. This forces an architect, a builder and a contractor to get closer, already at the initial stage of the design. At the same time it implies changes in architectural education and a need to improve the design tools.

Ekspertyzy z wieloma parametrami przy jednoczesnym działaniu wielu różnych sił formatywnych są niemal nowym przedsięwzięciem – szczególnie gdy chodzi o ocenę zróżnicowanych kryteriów obejmujących cechy przestrzenne, strukturalne, materiałowe oraz cechy wynikające z użytkowania. Takie zadania badawcze zapoczątkowane zostały w latach 2003-2004 na zajęciach dydaktycznych w Architectural Association School of Architecture (AA) w Londynie. W Polsce po raz pierwszy, korzystając z tamtych doświadczeń, kilka podobnych eksperymentów dydaktycznych zostało przeprowadzone pod kierunkiem Krystyny Januskiewicz i Mateusza Zwierzyckiego w nowopowstałej Pracowni Badawczej studentów Wydziału Architektury Politechniki Poznańskiej. Niektóre z nich zostały już przedstawione na łamach AV 3/2013.

Opis zadania

Należało zaprojektować samonośną przegrodę, której przeznaczeniem może być modulacja klimatu we wnętrzach architektonicznych, lub ogrodowych, wydzielającą przestrzeń użytkową w celu zapewnienia cienia i prywatności albo też jako wolnostojący element dekoracyjny. Pozostawiono dowolność odnośnie do materiału i kształtu, zachęcając do wyboru materiałów łatwych w modelowaniu, niedrogich i powszechnie dostępnych. Zdanie koncentrowało się bowiem bardziej na samym procesie badawczym, jego metodyce, niż poszukiwaniach zaawansowanego technologicznie budulca. Chodziło o zbadanie zależności pomiędzy cechami geometrycznymi kształtu, a cechami fizycznymi materiału oraz o sporządzenie parametrycznego ich zapisu aby wygenerować cyfrowy model geometryczny, który w systemie CAD/CAM jest konieczny do wytworzenia (fabrykacji) za pomocą robotów CNC.

Przebieg badań

W pierwszej fazie prac badawczych poznano metodę modelowania powierzchni swobodnych za pomocą narzędzi opartych na NURBS. Eksperymentowano rozpinając na profilach powierzchnie cyfrową w poszukiwaniu najbardziej dogodnego ukształtowania czyli takiego, którego konfiguracja przestrzenna zapewni przegrodzie stabilność. Modelowano takie powierzchnie, których układ fałd i środek ciężkości zapewniałyby utrzymanie równowagi bez wprowadzania zbędnych podpór. Otrzymywano głównie powierzchnie swobodne o złożonej geometrii.

W drugiej fazie badań pracowano nad podziałem powierzchni cyfrowej na elementy składowe. Jednocześnie badano cechy fizyczne wybranego materiału pod względem wyginania, cięcia oraz montażu, a także dokonywano oceny jego właściwości estetycznych. Ręcznie budowano szkieletowe modele fizyczne sekwencji projektu. Na tym etapie badań poznano metody tessalacji i konturowania powierzchni zakrzywionych w celu ich podziału na elementy płaskie, a także metodę dynamicznej relaksacji jako sposobu optymalizacji układu sobie podobnych elementów, metodę pobudzenia ich do samoorganizacji przestrzennej.

Każdorazowo sporządzano protokół zapisując cechy i otrzymane parametry liczbowe zamieszczano w dzienniku badań wraz z dokumentacją fotograficzną. W niektórych przypadkach badania dowiodły, że cechy materiału nie pozwalają na wykonanie wybranego kształtu przegrody. Wtedy potrzebna była modyfikacja, a nawet miana materiału. Przeszkodą mogły być także względy estetyczne. Istnieje bowiem zależność między kształtem a materiałem, czyli są kształty, które w jednym materiale wyglądają

lepiej, a w innym gorzej. Tak samo jest z kolorami. Wybierając inny materiał mimo już na uwadze pożądanego jego własności.

W fazie trzeciej, gdy wyniki badań były już zadawalające, a protokoły zawierały potrzebne informacje i parametry, to rozpoczęto eksperymentowanie ze przełożeniem tych danych na zapis zrozumiały dla komputera. Pomocną okazała się tu aplikacja Rhino Grasshopper, stworzona do projektowania parametrycznego. Pozwala ona na łatwe sporządzanie skryptu i tworzenie indywidualnych bloków i wtyczek. Za pomocą tej aplikacji można już było generować 3D modele potrzebne do reprezentacji projektu oraz do wykonania prototypu oraz produktu finalnego.

Należy zaznaczyć, że efektem analiz kształtu i materiału są modele cyfrowe, które są modelami strukturalnymi, gdzie związek części materiałowych z całością formy może być modulowany parametrycznie.

Tetrahedron

Czworościan foremny czyli gr. *tetrahedron* zbudowany jest z 4 przystających (takich samych) trójkątów równobocznych. W każdym wierzchołku schodzą się 3 trójkąty równoboczne (3 krawędzie) co zapisujemy (3,3,3). Tetrahedron posiada 4 wierzchołki, 6 krawędzi i 4 ściany – jest najmniejszym i najbardziej stabilnym elementem strukturalnym, który jest łatwy w zapisie topologicznym. Właśnie tetrahedron ma urzeczywistnić zasady budowania, jakie Buckminster Fuller (1895-1983) odnalazł w Naturze. Topologiczna geometria Fullera oparta na czworoscianie rewolucjonizowała myślenie inżynierskie w połowie XX w. Przełamała kartezjańsko-newtonowski pogląd, który zakładał, że istnieją struktury pierwotne oraz siły i mechanizmy powodujące ich interakcję. Dowiódł on, że każda struktura powinna być rozumiana jako przejaw właściwych jej procesów. Owe procesy tworzą sieć relacji, które są z natury dynamiczne. Jak zatem wykorzystać tetrahedron jako element tektoniczny strukturalizujący-cy powierzchnię swobodną?

Praca badawcza *Tetrahedron wall* obejmuje studium kształtu i materiału, dla powierzchni swobodnej w odpowiedzi na możliwości formowania blachy aluminiowej grubości 0,3 mm, używanej w poligrafii. Badania koncentrowały się tu na znalezieniu, w oparciu o czworoscian foremny, elementów przestrzennych, które jako składowe zapewniłyby projektowanej ściance pożądanego kształtu i stabilność oraz jakość estetyczną. Analizowano najpierw cechy materiału, jego sztywność, odporność na zgniatanie oraz walory estetyczne powierzchni. Następnie badano zachowania niewielkich pasków blachy (fałdowanie, zginanie, składanie) i mapowano wyniki w języku geometrii. Poszukiwano także sposobu łączenia z sobą czworosciennej elementów, tak aby performance struktury w odpowiadał cechom kształtu wymodelowanej wcześniej powierzchni swobodnej. Wykonano także model fizyczny niektórych sekwencji projektu, który pozwolił na ocenę i wnioski. W rezultacie opracowano zakładkowy sposób łączenia czworoscianów, który pozwolił na odwzorowanie kształtu wymodelowanej powierzchni.

Zebrane parametry dotyczące geometrii pozwoliły na sporządzenie modelu cyfrowego za pomocą aplikacji Rhino Grasshopper. Otrzymany tak model parametryczny dostarczył wymiarów potrzebnych do wykonania prototypu, czyli wycięcia i złożenia określonej ilości czworoscianów zróżnicowanych pod względem wielkości i złożenie ich w odpowiedniej kolejności.

Okazało się, że struktura pt. *Tetrahedron Wall* wykonana z blachy grubości 0,3 mm jest na tyle sztywna i elastyczna zarazem, że może mieć zastosowanie w formowaniu pofałdowanych powierzchni o różnorodnym przeznaczeniu. Można także wykorzystywać tzw. materiał z odzysku zapewniając powtórne jego użycie. Ze względu na odporność na warunki atmosferyczne, pofałdowana ścianka może znajdować się także na zewnątrz jako element wydzielający przestrzeń i służący modulacji mikroklimatu.

Tensegrity Wall

Przez struktury *tensegrity* rozmieść należy takie ustroje przestrzenne, w których następuje wzajemna stabilizacja elementów rozciąganych i ściskanych (ang. *tension* oraz *integrity*). Układy przestrzenne składają się wtedy ze sztywnych elementów (najczęściej prętów, ale też elementów trójwymiarowych) połączonych między sobą za pomocą elementów wiotkich (naprężone liny, cienkie pręty itp.). Elementy sztywne nie mogą się przy tym stykać. Wynalazek takiego ustroju konstrukcyjnego przypisywany jest B. Fullerowi (1895-1983) i K. Nelsonowi (ur. 1927), którzy w pierwszej połowie XX w. eksperymentowali z przestrzennym oddziaływaniem sił w konstrukcjach budowlanych.

Budując taki ustrój jedna z grup badawczych sięgnęła po zwykłą półprzezroczystą folię, aby nadać swojej ścianie cechu przegrody optycznej. Prowadząc krok po kroku studia nad materiałem i kształtem skoncentrowano się najpierw na zagadnieniach przezierności projektowanej przegrody w zależności od ilości nachodzących na siebie warstw folii. Początkowo ściankę miały tworzyć „poduszki” wypełnione wodą o różnym zabarwieniu, jednak problem okazało się zgrzewanie folii i zachowanie stabilności przegrody. Pozornie prostszym pomysłem byłoby zaprojektowanie ścinki z jednego kawałka materiału. Aby poprawić jej sztywności eksperymentowano z drewnianymi listwami o niewielkim przekroju. Tak zrodził się pomysł wykorzystania ustroju *tensegrity* jako szkieletu strukturalnego, na którym można by rozpinać materiał o niskim współczynniku sztywności. Przyjmując tak tok myślenia, opracowano najpierw fizyczny model modułu *tensegrity*, którego zmienna wielkość pozwoliłaby na uzyskanie pożądanego kształtu wymodelowanej wcześniej powierzchni swobodnej. Posłużono się prętami z drewna i zwykłym sznurkiem. W oparciu o zebrane parametry dotyczące kształtu i materiału oraz zapis czynności wygenerowano 3D model geometryczny za pomocą aplikacji Rhino Grasshopper. Wizualizacje zaś sporządzono w programie Rhinoceros uwzględniając kolor materiału i jego fakturę. W rezultacie powstała pofalowana przegroda samonośna o powierzchni ciągłej, złożona z przestrzennych modułów, różnej wielkości bocianię tą folią. Ze względu na walory estetyczne i zastosowany materiał najlepszym otoczeniem dla tej formy byłoby otoczenie przyrodnicze terenów parkowych i rekreacyjnych.

Cyfrowe narzędzia projektowania niosą olbrzymi potencjał, który mogłby zintegrować architekturę i technologię budowlaną, nadać architekturze nową ekspresję, wysoką jakość i precyzję poprzez wydajne i ekonomiczne struktury. Tradycyjne poszukiwanie formy zostaje zastępowane przez cyfrową „formację”, która musi być powiązana z terminem „informacja” oraz odpowiedzią formy na warunki środowiskowe i cechy materiału. Określa się to dziś terminem *performance*, który odnoszony jest zarówno do materiału jak i jego wysiłku strukturalnego w zależności od ukształtowania formy.

Kiedy architektura jest informowana przez wyniki analiz performatywnych, to przestaje być już formą jako taką – jest rozpatrywana jako formacja materiałowa. Istota takiego projektowania tkwi zatem w zasadach rządzących relacjami i modelem obrazującym związki strukturalne i materiałowe. Otrzymane tak modele cyfrowe są modelami strukturalnymi, gdzie związek części materiałowych z całością formy może być modulowany parametrycznie. Jest to zupełnie nowe podejście, zwłaszcza w aspekcie rozwiązywania problemów tektonicznych i konstrukcyjnych w odniesieniu do projektowania form swobodnych o złożonej geometrii.

Nauczanie takiego projektowania ma miejsce już niemal we wielu uczelniach architektonicznych nie tylko w Unii Europejskiej. Wymaga ono odpowiednio wyspecjalizowanej kadry dydaktycznej oraz wyposażenia uczelni w sprzęt komputerowy nowej generacji, czego w kraju wciąż brakuje, co tylko poszerza rozdzźwięk pomiędzy umiejętnościami architektów szkolonych w Polsce a zagranicą. Trzeba mieć jednak nadzieję, że ten stan szybko będzie ulegać zmianie.

Powstała w Poznaniu Pracownia Badawcza Projektowania Parametrycznego jest pierwszym krokiem we właściwym kierunku i formuła ta powinna być rozwijana, a także przejmowana przez inne wydziały architektury.