

Archivolta 4(60)2013 4/2013 s. 58-60

## Projektowanie i budowa Pawilonu w kampusie Politechniki Łódzkiej

### Warsztaty z Projektowania Parametrycznego P<sup>3</sup>

Łódź, 23 września – 20 października 2013

Design and construction of Pavilion on the campus of Łódź University of Technology

Workshop of Parametric Design P<sup>3</sup>

Sebastian Białkowski, Rafał Józwiak, Ewelina Stawowy

WA Politechnika Łódzka

Słowa kluczowe: architektura, projektowanie cyfrowe, projektowanie parametryczne, wytwarzanie CNC, Warsztaty P<sup>3</sup>, budowanie, pawilon

**Keywords:** architecture, digital design, parametric design, CNC fabrication, Workshop P<sup>3</sup>, construction, pavilion

#### Streszczenie

W dniach od 23 września do 20 października 2013 na Wydziale Architektury Politechniki Łódzkiej trwały warsztaty z projektowania parametrycznego "Workshop on Parametric Design P<sup>3</sup>". Warsztaty te zorganizowane były przez studenckie Koło Naukowe, które reprezentowane jest przez studentów: Piotra Adamski, Olę Chrzanowską, Rafał Józwiaka oraz Ewelinę Stawowy.

Celem było zbudowanie w pełni sparametryzowanego Pawilonu w skali 1:1, przy użyciu odpowiednich sił fizycznych, nadających określony kształt. Za materiał użyty do budowy pawilonu posłużyło 75 płyt sklejk o grubości 15 mm i o łącznej powierzchni 200 m<sup>2</sup>. Ze względu na charakter tego materiału, istnieją pewne ograniczenia takie jak warstwowa struktura materiału, mały moment zginający oraz mała tolerancja na błędy przy ich łączeniu, co uwzględniono w procesie projektowym.

Ostateczny kształt pawilonu opiera się na trójkątnej siatce złożonej z perforowanych płyt, połączonych za pomocą łączników i drewnianych klinów. Trójkątne panele będące rezultatem wzoru origami, nałożonego na powierzchnię tworzącą pawilon, zostały dodatkowo perforowane – otwory zostały odpowiednio zaprojektowane w dwóch celach. Po pierwsze, aby pozbyć się zbędnego ciężaru każdego panelu, a po drugie, żeby doświetlić wnętrze. Dzięki jednolitemu systemowi połączeń z drewna, który funkcjonuje na zasadzie pióra i wpustu oraz klinów, nie potrzebne są żadne dodatkowe mocowania, a cały pawilon może zostać łatwo rozebrany, przeniesiony i ponownie złożony. Rozmiar pojedynczych paneli umożliwia składowanie na stosunkowo nie-wielkiej powierzchni. Ponadto struktura całego pawilonu jest w pełni samonośna, łatwa do dostosowania i montażu. Może zostać przeniesiona, co definiuje ją jako strukturę tymczasową.

Proces tworzenia pawilonu, od etapu nauki oprogramowania do ostatecznego montażu, trwał 4 tygodnie. Organizatorzy Warsztatów P<sup>3</sup> mają nadzieję, że w przyszłości pawilon będzie spełniać bardzo ważną rolę edukacyjną i poznawczą, szczególnie dla studentów Politechniki Łódzkiej.

#### Abstract

From 23 September – 20 October, 2013 at Faculty of Architecture of Łódź University of Technology, the workshop on Parametric Design P<sup>3</sup> was being held. The workshop was organized by KĄT - the Scientific Group of Architecture Students, represented by Piotr Adamski, Olga Chrzanowska, Rafał Józwiak and Ewelina Stawowy. This project was created due to a need to draw wider attention to the fact that parametric design is becoming an increasingly common tool used in architectural firms around the world. One can not be indifferent to this trend. Parametric design should not be ignored in the context of gaining experience, learning and developing skills. Nowadays, elementary knowledge of fundamental design and space forming principles, followed by basic computer skills in programs such as AutoCad, Archicad and Sketchup, is often not enough to get your way into

good job, mainly in overseas practices. It takes more than that. During the workshop we offered the students as much new practice as possible. We were aware that not everything could have been covered in such a short time. However, we are hoping that this project will help you gain valuable experience and new skills in how to design and run programs that are not included in the standard curriculum. To conclude, the main point of the project is to learn about new designing methods and to work together in order to create a full-scale wooden pavilion. The purpose is clear – broadening the knowledge.

The aim of the P3 Parametric Design Workshops, at the Łódź University of Technology, was to build a fully parametrized 1:1 scale Pavilion, which would be an expression of both applied physical forces and imposed design decisions acting as shape defining criteria. The material chosen for this purpose were 75 sheets of 15 mm plywood with a total area of 200 sqm. Because of the nature of this material, there were certain constraints such as a low bending moment, the layered structure of the material and the low tolerances needed for precise connections, which had to be taken into account during the design process.

The final form of the pavilion is based on the triangular mesh composed of perforated panels connected with the help of wooden fasteners and wedges. The triangle based cells are a result of the origami pattern chosen for populating the pavilion's surface. Additionally perforations have been designed in order to allow sunlight penetration of the pavilion and at the same time reduce weight of bigger panels. Given the mechanical nature of the connection, which uses no additional binder, the pavilion can be easily disassembled, relocated and reassembled. The size of each individual element also enables a space conscious storage. Additionally the structure of the pavilion is self-supporting, flexible in terms of adaptability and erection. As a temporary structure it can be easily transported.

The creation process of the pavilion, from learning of the software to its final assembly, took 4 weeks. P3 Workshops organizers have hope that in the future the pavilion will fulfil a very important educational and cognitive role, especially for students of the Łódź University of Technology.

Większość działań Koła Naukowego KAŹ studentów Architektury i Urbanistyki Politechniki Łódzkiej podejmowana jest z potrzeby czysto poznawczej, uzupełniając przy tym program dydaktyczny. Ostatni projekt koła – Warsztaty z Projektowania Parametrycznego P<sup>3</sup>, jest największym tego rodzaju przedsięwzięciem w Polsce. Pomysł zaprojektowania i wybudowania pawilonu w skali człowieka przy udziale narzędzi informatycznych, wiązał się z koniecznością poznania parametrycznych narzędzi cyfrowych oraz ich zastosowania w innej metodologii pracy koncepcyjnej i wykonawczej.

Prace organizacyjne nad projektem rozpoczęły się w maju 2013. Od tego czasu studenci postarali się o dofinansowanie projektu z różnych źródeł, opracowali materiał dydaktyczny w postaci tzw. tutoriali z Rhino i Grasshoppera oraz wypromowali wydarzenie, aby zachęcić innych do udziału w warsztatach. Chętnych było więcej niż oczekiwano, a zatem, na początku września komisja kwalifikacyjna sporządziła listę 30 uczestników na podstawie wstępnych koncepcji formy pawilonu. Następnie zakupiono 200 m<sup>2</sup> sklejki z drewna liściastego o grubości 15 mm i nawiązano współpracę z firmą posiadającą frezarkę CNC.

Do prowadzenia warsztatów zaproszono dwóch architektów specjalizujących się w projektowaniu parametrycznym, a to: Sebastiana Białkowskiego, Tudora Cosmatu i Aleksandra Kalacheva, do których dołączył niebawem Sebastian Białkowski, Wszyscy związani z Dessau Institute of Architecture (DIA).

Między 23 a 29 października br. prowadzący warsztaty mieli za zadanie zapoznać studentów w tematykę projektowania parametrycznego. W ciągu trzech pierwszych dni Sebastian Białkowski wraz z Tudorem Cosmatu przeprowadzili serię wykładów i ćwiczeń, podczas których uczestnicy poznawali krok po kroku modelowanie cyfrowe za pomocą powierzchni NURBS, krzywych Beziera oraz *Bspline*. Następnie przedstawione im zostały narzędzia parametryczne pomocne w strukturalizacji powierzchni NURBS, a także narzędzia umożliwiające korygowanie geometrii powierzchni w zależności od *atraktorów*, czy cyfrowych symulacji niektórych zjawisk fizycznych. W tym przypadku posłużono się narzędziami Kangaroo stworzonymi dla aplikacji Grasshopper. Po zapoznaniu się z logiką działania tych narzędzi projektowania uczestnicy w grupach sześciuosobowych rozpoczęli pracę nad cyfrowym modelem Pawilonu. Powstało pięć odmiennych koncepcji odnośnie formy i jej tektoniki cyfrowej. Pomysły te w dalszej pracy twórczej weszły jako składowe projektu docelowego. Ostateczna koncepcja Pawilonu przybierała w końcu formę symetrycznej, trójlistnej koniczyny czy

też, rozłożystych parasoli czy grzybów łączących się nawzajem kapeluszami tak, aby powstało jedno duże przekrycie.

### **Parametryczny model 3D**

Opracowanie geometrycznego modelu 3D Pawilonu za pomocą parametrycznej aplikacji Rhino Grasshopper rozpoczęło się od zdefiniowania trzech punktów wyznaczających jakby środek każdego „parasola”, punktów ich podparcia. W początkowych stadiach punkty te były przypadkowym zbiorem współpłaszczyznowym, wyznaczającym trójkąt różnoboczny. Jednak w podczas poszukiwań formy, projektanci usystematyzowali je tak, iż w efekcie końcowym odpowiadały one wierzchołkom trójkąta równobocznego. Kolejnym etapem było wyznaczanie zewnętrznych punktów podparcia Pawilonu. W tym celu posłużono się diagramem Woronoja (Voronoi Tessalation), dzięki czemu uzyskano obrys zewnętrzny obiektu. Tworzą go trzy połączone z sobą łuki, których przebieg wyznacza usytuowanie podpór zewnętrznych Pawilonu. Dane te, to podstawowe informacje definiujące rozmiar budowli i są wystarczające do podjęcia dalszych działań w opracowaniu geometrycznym modelu 3D.

Następnym krokiem było wyznaczenie krzywych pozwalających zdefiniować później kształt przestrzenny w zapisie geometrii modelu 3D. Aby to osiągnąć posłużono się cyfrową instrumentalizacją zasad działania pola magnetycznego, a inaczej ujmując, liniami wyznaczającymi kierunki jego przepływu tego pola. Przyjęto, że podpory wewnętrzne są środowiskiem naładowanym dodatnio, a obwiednia czyli zewnętrzny obrys Pawilonu, ma ładunek ujemny. Uzyskane w ten sposób krzywe przyjęto jako podstawę do wprowadzenia nowych krzywych np. NURBS, już w drodze interpolacji. Umożliwiło to, wygenerowanie powierzchni wyznaczającej objętość/kubaturę obiektu, co ważne, powierzchni ciągłej. Taka powierzchnia jest niezbędnie konieczna, aby można opracowywać jej elementy strukturalne możliwe do fabrykacji. Następnie, wspomniana powierzchnia została podzielona na trójkąty. Uzyskać to można przez tesselację trójkątną lub wprowadzenie trójkątnej siatki (Mesh), Zabieg ten wykonuje się dla powierzchni o złożonej geometrii, po to aby, otrzymywać serie zróżnicowanych w rozmiarze elementów, lecz płaskich, łatwych do wycinania przez roboty przemysłowe CNC. W tym przypadku trójkątny podział powierzchni pozwolił dodatkowo na wykorzystanie pomysłu jednej z grup opartego na zaginaniu i składaniu origami. Posortowano zatem krawędzie trójkątów odpowiednio dla zagięć wypukłych i wklęsłych.

Kolejnym etapem powstawania modelu 3D Pawilonu, była symulacja zachowań pod wpływem sił działających na uzyskany już model geometryczny. W każdym węźle otrzymanej wcześniej siatki, została przyłożona zunifikowana siła (Uforce) prostopadła do terenu, lecz skierowana do góry, symulująca działanie grawitacji, lecz w przeciwnym kierunku. Jest to tzw. grawitacja odwrotna. Stosuje się ją aby uzyskać najbardziej optymalny kształt obiektu w relacji do jego elementów wynikających z wcześniejszego podziału. Drugą składową symulacji były siły działające między trójkątami siatki (Hinges), czyli przyszłymi panelami zestawianymi zgodnie z logiką origami. Dzięki danym/parametrom pochodzącym z odpowiednio posortowanych krawędzi siatki, algorytm wskazał w jakim kierunku należy wyginać panele. Ponadto, aby mieć większą kontrolę nad ukształtowaniem formy, zostały nałożone siły *Springs*, czyli rodzaj *sprężyn* utrzymujących siatkę, co dało kontrolę nad kształtem nadwieszonych części pawilonu. Przez zmiany parametrów takich jak: wielkości przyłożonych sił *Uforce*, współczynnika sprężystości czy długości w przypadku *Springs*, lub kątów dla oddziaływań *Hinges* pozwalały na poszukiwania odpowiedniej formy Pawilonu. Każda z tych sił lub oddziaływań można było zmieniać i dostosowywać w trakcie symulacji, przez co poszukiwania i badanie zachowań geometrii formy odbywało się „na żywo”, a rezultaty były czasem zaskakujące.

### **Wytwarzanie CNC**

Zastosowano, nietypowy w tej skali sposób łączenia paneli, który przypomina zamek błyskawiczny, spajając krawędzie i tym samym nadając lepszy rozkład sił, potrając jednocześnie powierzchnię styku między panelami. Jest to pewne odwołanie do tradycyjnej metody łączenia drewna na pióro-wpust, tylko w sposób zwielokrotniony. Stworzono algorytm, który przekształcił trójkątne panele czyniąc z nich elementy o złożonej geometrii wyposażone w złącza na krawędziach, otwory na łączniki, perforacje jak i indeksy elementów w celu ich łatwej identyfikacji przy montażu. Wygenerowano także łączniki, które z jednej strony definiują kąty między poszczególnymi panelami, a z drugiej usztywniają konstrukcję blokując ją na klin. Nie użyto zatem do montażu innego materiału niż drewno.

Ostatecznie uzyskano 570 niepowtarzających się paneli, 1008 łączników opisujących 806 różnych kątów między panelami i 2016 klinów. Łącznie daje to ponad 3500 elementów! Czerpiąc dane z modelu 3D, zgodnie z przyjętym algorytmem, komputer rozłożył elementy do wycinania w sposób najbardziej ekonomiczny. Pomocne w tym procesie okazały się narzędzia RhinoNest, które pozwoliły tak skonfigurować układ elementów wycinanych, aby odsetek odpadów był jak najmniejszy. Przygotowane pliki do wytwarzania zostały wprowadzone do frezarki CNC.

Podczas wycinania każdy z uczestników miał okazję prześledzić proces fabrykacji, czynnie włączając się w obsługę maszyny. Zużyto na nie 74 płyty sklejk o wymiarach 125 x 213 cm i grubości 15 mm. Wycinanie elementów trwało w sumie ok. 50 godzin.

Wypowiadając się w imieniu wszystkich uczestników warsztatów Rafał Józwiak podkreśla, że „dla nas, studentów architektury, styczność z narzędziami, dzięki którym możliwe jest bezpośrednie przetransponowanie zapisu komputerowego na realne obiekty, jest interesującym i rzadkim doświadczeniem. Czas spędzony przy frezarce CNC był wyczerpujący fizycznie, wiązał się z pomocą w obsłudze maszyny, utrzymaniem pracowni w czystości, przenoszeniem i szlifowaniem elementów. Nikt z nas nie narzekał. Mieliśmy poczucie, że tworzymy coś unikatowego i że możemy widzieć tego pierwsze rezultaty – efekty naszego trudu”.

### **Montaż *in situ***

Po wycięciu drewnianych elementów przystąpiono do ich montażu *in situ*. Najpierw rozmierzono na trawniku siatkę triangulacyjną o wymiarach 9 x 9 x 3,5 m. Przydatna okazała się wiedza z zakresu pomiarów budowlanych, dzięki której z łatwością wyznaczono dwanaście punktów mocowania Pawilonu z gruntem. W wyznaczonych punktach zostały wprowadzone niemal półtorametrowej długości stalowe śruby wykonane w niemieckiej technologii Krinner. Na ich górną część osadzone zostały głowice z przesuwными otworami do mocowania, co pozwalało regulować ustawienie budowli. Użyto także śrub rzymskich aby zapewnić dostateczne warunki dla pracy strukturalnej całości Pawilonu. Ponadto, aby precyzyjnie regulować kąta nachylenia niektórych części tej struktury przestrzennej opracowano proste urządzenie złożone z dwóch płytek metalowych i zawiasów.

Proces budowy trwał tydzień. Najpierw studenci łączyli z sobą ponumerowane wcześniej panele ze sklejkami, tak aby powstały większe moduły, czyli poszczególne fragmenty struktury. Następnie fragmenty te łączyli z sobą w określonej kolejności zwracając uwagę na równowagę budowli. Udało się opracować wydajny system pracy, oparty na podziale obowiązków, co znacznie usprawniło montaż. Jedna osoba przy komputerze wywoływała odpowiednie numery paneli i łączników, następnie dwie osoby przynosiły je na plac budowy i kolejne dwie montowały je w odpowiednim położeniu pomagając sobie młotkiem. Powstała niebawem spektakularna forma przestrzenna, miejsce relaksu i innego spojrzenia na znane fragmenty otoczenia. Pawilon jest otwarty i zamknięty zarazem, oferuje nową przestrzeń kontaktu, której często brakuje w ciasnych murach uczelni.

Zaprojektowana cyfrowo budowla wzniesiona w przestrzeni fizycznej jasno uzmysławia rewolucję jaka dokonuje się w architekturze zarówno w jej sferze konceptualnej jak i realizacyjnej. Kreatywny potencjał cyfrowych narzędzi otworzył nowy wymiar w projektowaniu architektonicznym ściśle powiązany z zaawansowanym wytwarzaniem elementów składowych budowli. Przemysł budowlany, który szybciej niż projektowanie przechodzi na wytwarzanie cyfrowe, wymusza zmianę podejścia do projektowania architektury. Nie wystarczy już tylko studencki zapał do eksperymentowania, potrzebne jest szybkie rozszerzenie zakresu wiedzy i umiejętności zdobywanej programowo na studiach architektonicznych, aby dorównywać innym architektom kształconym, poza granicami kraju.