

Nowe możliwości kształtowania elewacji z wykorzystaniem projektowania parametrycznego

New possibilities for facade shaping using parametric design

Streszczenie

Artykuł prezentuje nowe możliwości wykorzystania narzędzi do projektowania parametrycznego w edukacji architektonicznej, a także w twórczości projektowej, na przykładzie komponowania elewacji budynków. Opracowanie analizuje zagadnienie parametrycznego kreowania elewacji obiektów w środowisku BIM-owskim w oparciu o programy ARCHICAD i Grasshopper. Znajomość potencjału przedstawionych w artykule narzędzi może bezpośrednio przekładać się na sposób i jakość parametrycznego projektowania architektonicznego. Przedstawiono cykl postępowania edukacyjno - projektowego na przykładzie ćwiczenia laboratoryjnego realizowanego na przedmiocie *Techniki BIM w Projektowaniu* (I stopień, I rok, semestr 02) oraz *Projektowanie Parametryczne BIM* (II stopień, I rok, semestr 02) prowadzonych przez Zakład Geometrii Wykreślnej, Rysunku Technicznego i Grafiki Inżynierskiej na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki.

Abstract

In this paper new possibilities of using tools for parametric design in architectural education, as well as in design creativity on the example of an arrangement of building facades are provided. In this study the issue of the parametric creation of building facades in the BIM environment using the ArchiCAD and the Grasshopper programs is analysed. Knowledge of the potential of the tools presented in the paper may evoke a straightforward effect on the method and the quality of parametric architectural design. To substantiate this claim the exemplary cycle of an educational and design procedure as part of laboratory exercises is presented. The exercises took place during the courses: BIM Techniques in Design (1st degree, 1st year, 2nd semester) and Parametric BIM Design (2nd cycle degree, 1st year, 2nd semester, optional course) carried out by the Department of Descriptive Geometry, Technical Drawing and Engineering Graphics at the Faculty of Architecture Cracow University of Technology.

Słowa kluczowe: projektowanie parametryczne, technika BIM, ArchiCAD, Grasshopper, detal architektoniczny, elewacja

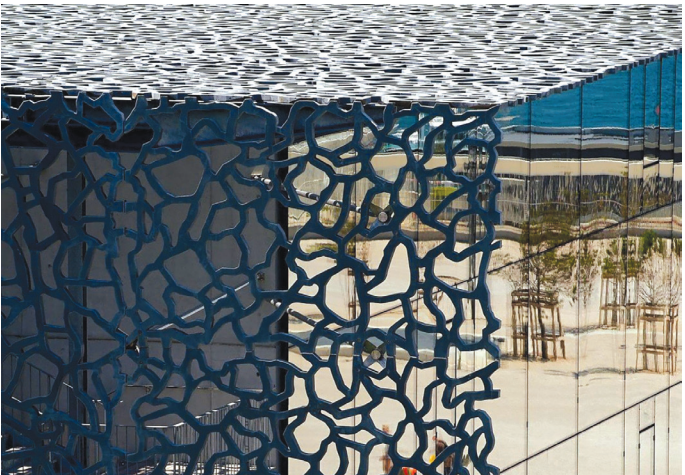
Key words: parametric design, BIM techniques, ArchiCAD, Grasshopper, architectural detail, facade

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój świata w zakresie technologii i sposobów projektowania wymaga nowego podejścia do zagadnienia tworzenia obiektów architektonicznych. W szczególności dotyczy to potrzeby projektowania nowoczesnych przegród zewnętrznych dla architektury użyteczności publicznej. Należy przeciw tym tendencjom wychodzić najnowsze możliwości, jakie posiadają obecnie narzędzia do projektowania parametrycznego. Zainspirowało to do opracowania nowego zadania laboratoryjnego dla studentów Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki. W ramach zajęć w roku akademickim 2017/2018 z przedmiotów *Techniki BIM w Projektowaniu* (I stopień, I rok, semestr 02) oraz fakultetu

1. Introduction

The dynamic development of the world within the fields of technology and methods of design requires to forge a new approach to the issue of creating architectural objects. In particular this applies to the call for design of up-to-date building envelopes in terms of the architecture of public buildings. The newest possibilities, currently available from among tools for parametric design, come out to meet these trends. It was the main inspiration for a development of a new laboratory exercise for students of the Faculty of Architecture Cracow University of Technology. In the academic year 2017/2018 the issue of façade creation in BIM technology coupled with parametric design was introduced as a part of the classes within the courses: BIM Techniques in Design (1st degree,



Projektowanie Parametryczne BIM (II stopień, I rok, semestr 02) pod kierunkiem dr hab. Krystyny Romaniak prof PK prowadzonych przez Zakład Geometrii Wykreślnej, Rysunku Technicznego i Grafiki Inżynierskiej wprowadzono kreowanie elewacji w technologii BIM sprzężonej z projektowaniem parametrycznym. Inspiratorami wdrożenia tego ćwiczenia do zajęć laboratoryjnych byli mgr inż. arch. Rafał Zieliński oraz mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, do których dołączyli dr inż. arch. Farid Nassery oraz inż. arch. Paweł Sikorski. Zadanie projektowe stało się podstawą przedstawionego poniżej sposobu kreowania elewacji.

Współcześnie wiele realizacji architektonicznych osłoniętych jest nowoczesną, wielowarstwową, a także transparentną skórą. Zrywa ona z standardowym myśleniem o elewacji w kategorii kompozycji z rozmieszczonych okien na rzecz swobodnej aranżacji różnorodnych materiałów elewacyjnych i przeszkleń. Jeszcze większy potencjał aranżacji w tym aspekcie mają obiekty, których funkcja nie wymaga dostępu do naturalnego światła.

Architekci w dążeniu do projektowania unikalnych obiektów o własnej tożsamości stale poszukują oryginalnych wzorów i nowatorskich materiałów. W dalszym ciągu niewyeksplorowanym zasobem nowych form dla ich poszukiwań, o często geometrycznym charakterze, pozostaje projektowanie parametryczne. Stanowi ono obszar inspiracji dla wzornictwa, plastyki, a także formowania architektury. Z tego powodu architekci w swoich realizacjach coraz częściej sięgają po tą metodę projektowania.

2. Projektowanie parametryczne

Zagadnienie projektowania parametrycznego architektury jest szeroko obecne w literaturze światowej oraz coraz szerzej w polskiej. Powyższą tematykę poruszono przykładowo w publikacji John'a Maeda *Design By Numbers*¹, Daniela Davis'a *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*², czy Arturo Tedeschi *AAD_Algorithms Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*³. W polskiej literaturze są to między innymi książki Marii Helenowskiej-Peschke *Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury*⁴, Krystyny Ja-

il. 1 Social Facilities in Roses.AVINGUDA Barcelona, 17480 Roses, Girona, Hiszpania. Exe arquitectura: J. Valor, E. Sadurní, M. Obradó, 2014 (frag. fot. S. García z: <https://www.archdaily.com/773060/social-facilities-in-roses-exe-arquitectura/55dd2883e58ece6d410000f3-social-facilities-in-roses-exe-arquitectura-photo> (dostęp: 07-07-2018))
III. 1. Social Facilities in Roses. Avinguda Barcelona, 17480 Roses, Girona, Spain. Exe arquitectura: J. Valor, E. Sadurní, M. Obradó, 2014 (photography fragment of S. García from: <https://www.archdaily.com/773060/social-facilities-in-roses-exe-arquitectura/55dd2883e58ece6d410000f3-social-facilities-in-roses-exe-arquitectura-photo> (access: 2018-07-07)

1st year, 2nd semester) and Parametric BIM Design (2nd cycle degree, 1st year, 2nd semester, optional course) under the guidance of Ph.D. Krystyna Romaniak, professor at CUT, conducted by the Department of Descriptive Geometry, Technical Drawing and Engineering Graphics. The implementation of this training for laboratory classes was given the inspiration by Msc. Arch. Rafał Zieliński, and Msc. Arch. Maciej Wójtowicz, later joined by PhD. Arch. Faïd Nassery, and Eng. Arch. Paweł Sikorski. The design task became the groundwork for the manner of facade creation which shall be set out below.

Nowadays many architectural realisations are covered with a modern, multi-layered, as well as transparent overlay. It breaks with the traditional standpoint where the facade is perceived as a composition of windows' deployment for the free arrangement of various facade materials and glazings. In this matter objects whose function does not require access to a natural light have even a greater potential.

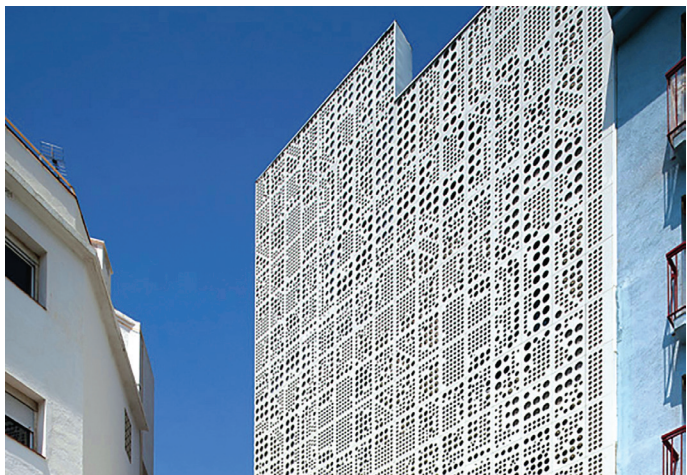
In the quest for designing unique objects equipped with their own identity architects constantly search for original designs and innovative materials. Parametric design remains still an inexhaustible source for their exploration of new forms, often of geometric features. It is proclaimed to be a land of inspiration for design, visual arts, as well as a creation of architecture. For this reason architects increasingly use this method of design in their realisations.

2. Parametric design

The matter of parametric architectural design is widely present in foreign and increasingly Polish literature of the subject. To mention few examples, the topic was addressed in: Design By Numbers by John Maeda¹, Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture by Daniel Davis² or AAD Algorithms Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper by Arturo Tedeschi³. In Polish literature of the subject among others books one can mention: Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury by Maria Helenowska-Peschke⁴, O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju by Krystyny Januszkiewicz⁵, and also the papers: Systemy i narzędzia generatywne⁶, Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym⁷, Czym jest pro-

* Dr inż. arch. Farid Nassery, Zakład Geometrii Wykreślnej, Rysunku Technicznego i Grafiki Inżynierskiej, Instytut Projektowania Budowlanego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska / Farid Nassery, PhD. Arch., Department of Descriptive Geometry, Technical Drawing and Engineering Graphics, Institute of Building Design, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology, e-mail: fnassery@pk.edu.pl

** Mgr inż. arch. Paweł Sikorski, Studia magisterskie, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska / Paweł Sikorski, MSc. Arch., Master studies, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology, e-mail: ppsikorski@gmail.com



il. 2 MuCEM. Tunnel du Vieux-Port, Marsylia, Francja. Rudy Ricciotti, 2013 (frag. fot. S. Massart z: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti/51dce7bbe8e44e34bf00008a-mucem-rudy-ricciotti-photo> (dostęp: 07-07-2018))
 III. 2. MuCEM. Tunnel du Vieux-Port, Marseille, France. Rudy Ricciotti, 2013 (frag. fot. S. Massart from: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti/51dce7bbe8e44e34bf00008a-mucem-rudy-ricciotti-photo> (access: 2018-07-07))

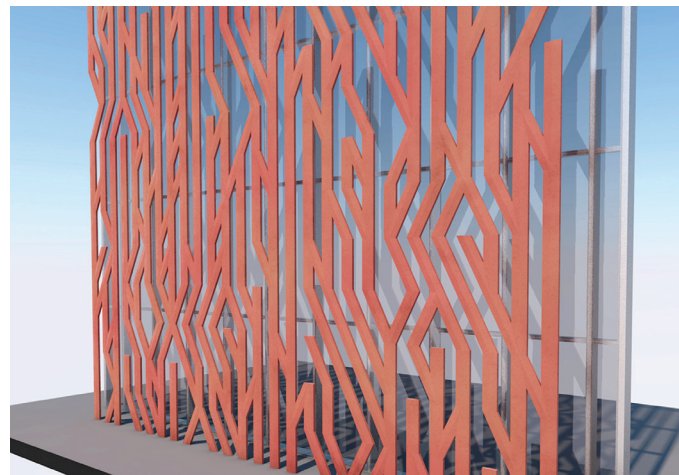
nuszkiewicz *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*⁵, a także w artykułach Krystyny Januszkiewicz *Systemy i narzędzia generatywne*⁶, *Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym*⁷, *Czym jest projektowanie parametryczne?*⁸. Powyższą problematykę można znaleźć również na portalach internetowych przykładowo takich jak *Projektowanie Parametryczne - architektura w nowym wydaniu*⁹ czy też blogach internetowych prowadzonych przez specjalistów - Blog Daniela Davis'a¹⁰.

Definiując projektowanie parametryczne jest to proces, w którym za pomocą modelu zawierającego relacje między jego elementami poszukuje się właściwych wartości parametrów opisujących te związki. W zależności od ilości parametrów, jak również liczby charakteryzowanych wymiarów, możemy mieć do czynienia z bardziej lub mniej złożonym zagadnieniem. Dla tego samego modelu inny zestaw wartości będzie np. opisywał stan maksymalnej objętości, a inny stan najlepszej relacji objętości do powierzchni. Taki model cyfrowy odpowiednio zaprogramowany może być szybko przetwarzany przez komputer. Maszyna obliczeniowa może przeprowadzać jego analizy, transformacje i optymalizacje. Innymi słowy przetwarzać informacje zawartą w tym modelu. Metoda ta jest cenna z co najmniej trzech powodów. Po pierwsze daje możliwość wariantowania koncepcji projektowej dzięki elastyczności i łatwości wprowadzania zmian w projektowanej geometrii. Po drugie raz opracowane algorytmy i skrypty mogą zostać ponownie wykorzystane. Po trzecie umożliwia dość trafne analizy wpływu modelu na środowisko. W tej sytuacji środowisko staje się integralną częścią modelu cyfrowego. Takie podejście w projektowaniu zostało zaanektowane do świata architektury z ścisłych dziedzin inżynierskich. Transfer tej metodologii wynika z faktu uproszczenia i upowszechnienia się narzędzi do budowania algorytmów i programowania. Zaowocował on wieloma realizacjami, takimi jak fasada domu handlowego Weltstadthaus (1999-2005) w Kolonii projektu Renzo Piano¹¹, Yas Island Marina Hotel (2007–2009) przy torze wyścigowym Formuły 1 w Abu Dhabi projektu Hani Rashid i Lise Anne Couture z Asymptote¹².

projektowanie parametryczne?⁸ all published by Krystyna Januszkiewicz. The issue set out above one can also find addressed on web portals: Projektowanie Parametryczne– architektura w nowym wydaniu⁹ – to name an example, or Internet blogs run by specialists – such as the blog of Daniel Davis¹⁰.

To define a parametric design one has to take into account that it consists of elements governed by the model containing their mutual relations and parameters describing this dependency and a process during which appropriate values of those parameters are sought. One may have to deal with a rather complex or rather simple issue, depending on the number of parameters, as well as the number of dimensions. As an example – for one and the same model one set of values will describe the state of a maximum volume, while another one the state of an optimised relation between a volume and a surface. Such a digital model can then be processed quickly using a computer if properly programmed. The computing device can carry out its analysis, transformations and an optimisation. In other words – can process information included in this model. There are three main reasons which make this method profitable. First of all it gives the possibility of variation within the design concept according to its flexibility and ease of amending the designed geometry. Secondly algorithms and scripts once developed can be reused in another circumstances. Last but not least – it enables quite accurate analyses of an impact of the model on an environment. Thus an environment becomes an integral part of the digital model. This approach, now naturally present in the world of architectural design, comes from the engineering science. The possibility of this methodological transfer arises from the fact that building and programming tools for algorithms became more and more simple and popular. The facade of Weltstadthaus department store in Cologne designed by Renzo Piano (1999–2005)¹¹, Yas Island Marina Hotel at the Abu Dhabi Formula One racetrack designed by Hani Rashid and Lise Anne Couture from Asymptote (2007–2009)¹² are just few examples of many realisations that resulted from this idea.

Three main groups of architectural applications can be distinguished concerning the intensity in using these tools and their impact on the architectural forms. To the first one belong all those where computer design does not significantly affect the architectural form and design, but rather serves to verify it



II. 3 Wizualizacja systemu elewacyjnego zaprojektowanego parametrycznie (autor: inż. arch. Paweł Sikorski, prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Szymon Filipowski, mgr inż. arch. Michał Nessel, mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, mgr inż. arch. Rafał Zieliński)

III. 3. Visualisation of the parametrically designed facade system (Author: Eng. Arch. Paweł Sikorski, lecturer: MSc. Arch. Szymon Filipowski, MSc. Arch. Michał Nessel, MSc. Arch. Maciej Wójtowicz, MSc. Arch. Rafał Zieliński)

Intensywność zastosowania tych narzędzi i ich wpływ na formę architektoniczną można podzielić na trzy główne grupy. Do pierwszej należy użycie projektowania komputerowego, które nie wpływa istotnie na formę i projekt architektoniczny, a raczej służy jego weryfikacji (np. czy spełnia określone wymogi energochłonności, czy przewidziana konstrukcja jest wykonalna). Zmiany w samej architekturze dokonują się na drodze konsultacji i poszukiwania konsensusu z wynikami analiz komputerowych. Kolejną grupę stanowi zastosowanie projektowania parametrycznego w celu wykorzystania wyników do optymalizacji i redukcji kosztów przedsięwzięcia. Poszukiwane są najlepsze rozwiązania technologiczne do osiągnięcia zamierzonych celów. W takim przypadku zdarza się, że forma architektoniczna podporządkowana jest logice inżynierskiej, a wręcz staje się jej manifestacją. Trzecim przypadkiem jest wykorzystanie narzędzi komputerowych w celu opracowywaniu formy i wyrazu architektonicznego. Można mieć w tym wypadku do czynienia z sytuacją, gdzie modelowanie komputerowe służy do zapisu i przetwarzania skomplikowanych geometrii, których opisywanie ręczne byłoby karkołomnym zadaniem. Pewnym wariantem tego podejścia jest proces nazwany form-finding. Polega on na całkowitym oparciu się na algorytmach i generowanych przez nie formach przestrzennych. W tym podejściu dla architektów otwiera się nowy wyjątkowo obszerny wachlarz form, stylów i geometrii bazujących na różnorodnych algorytmach. Mogą one czerpać z świata natury – biomimetyka, emergencji, teorii chaosu, szerokiego spektrum algorytmów matematycznych¹³.

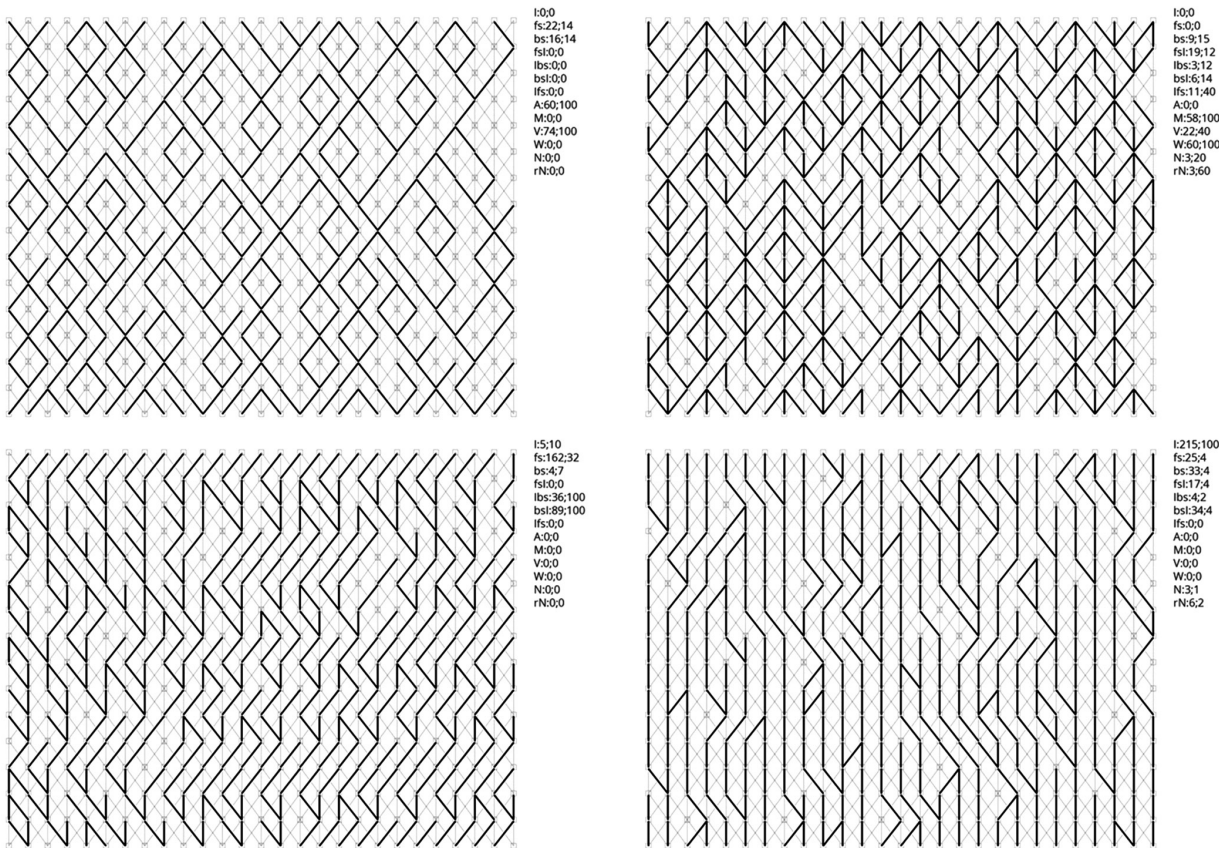
3. Technologia BIM

Kolejnym ważnym elementem w tworzeniu zaawansowanych elewacji jest wykorzystanie technologii BIM (ang. *Building Information Modeling*). Tej tematyce poświęconych jest bardzo wiele publikacji, które można podzielić na dwa główne nurty: omawiające całościowo technologię BIM oraz prezentujące wyłącznie sposoby obsługi programów komputerowych wspomagających projektowanie w tej technologii. Do pierwszego nurtu należą przykładowo takie publikacje jak: Lincolna Forbes'a *Information and Communication Technology/Building Information Modeling*¹⁴, Brada Hardina i Dava McCool'a

(e.g. whether it meets certain energy-consumption requirements or if planned construction is feasible). Changes in the architectural structure as it is are carried out through consultations and an agreement based on a consensus with the results of a computer analysis. Realisations from another group are based on the use of parametric design in order to adopt the result of optimising and reducing project costs. In this case sometimes it happens that architectural form is subordinated to engineering logic and even becomes its manifestation itself. The third case is connected with the use of computer tools to develop an architectural form and expression. Here one may deal with a situation when computer modelling serves to write and process complicated geometries for which a manual description would be a harebrained task. A process called form-finding is a certain variation of this approach. It consists in total reliance on algorithms and spatial forms generated by them. In this approach a wide panoply of forms, styles and geometries on a variety of algorithm opens up in front of architects. Those possibilities can draw inspiration from the natural world, i.e. biomimetics, emergences, chaos theory, a wide spectrum of mathematical algorithms¹³.

3. BIM Technology

While creating an advanced facade one may take into account another important element, namely the use of BIM (Building Information Modelling) technology. The topic is widely discussed in many publications which may be classified into two main trends: the ones discussing the BIM technology as a whole and the ones presenting only some of the ways to use computer programs supporting design within this technology. Publications that address the first trend includes: Information and Communication Technology/Building Information Modeling by Lincoln Forbes¹⁴ and BIM and Construction Management by Dave McCool¹⁵; and also in polish: BIM Innowacyjna technologia w budownictwie by Andrzej Tomana¹⁶ and one of the newest polish books on the subject BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study by Dariusz Kasznia, Jacek Magiera and Paweł Wierzowiecki¹⁷. To complete the list one has to mention books containing basic knowledge related to work in the ArchiCAD, which is one of the programs employing BIM technology: ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM by Rafał Ślęk¹⁸, Archicad 21



II. 4 Przykładowe warianty układu kształtek w systemie elewacyjnym zaprojektowanym parametrycznie (autor: inż. arch. Paweł Sikorski, prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Szymon Filipowski, mgr inż. arch. Michał Nessel, mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, mgr inż. arch. Rafał Zieliński)
 III. 4. Exemplary variants of the collocation of the fittings in the parametrically designed facade system (Author: Eng. Arch. Paweł Sikorski, lecturer: MSc. Arch. Szymon Filipowski, MSc. Arch. Michał Nessel, MSc. Arch. Maciej Wójtowicz, MSc. Arch. Rafał Zieliński)

*BIM and Construction Management*¹⁵, Andrzeja Tomany *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie*¹⁶, czy jedna z najnowszych polskich książek Dariusza Kaszni, Jacka Magiery i Pawła Wierzowieckiego *BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study*¹⁷. Natomiast podstawy wiedzy związanej z pracą ArchiCADzie, będącym jednym programów wykorzystujących technologię BIM można znaleźć w takich książkach jak: Rafała Ślęka *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*¹⁸, Bernharda Bindera *Archicad 21 BIM-Modellierung und Dokumentation*¹⁹. Powyższą tematykę prezentuje także wiele źródeł internetowych, przykładowo blog bimblog.pl²⁰ oraz GRAPHISOFT *BIM Curriculum*²¹.

Model *BIM* jest to zbiór wirtualnych informacji tworzący kompletny opis budynku. Stanowi on bazę danych, która w trakcie projektowania jest na bieżąco uzupełniana i poszerzana²². Ta forma podejścia do procesu budowlanego wynika z ogromnego rozwoju technik informatycznych i ich wpływu na wszystkie dziedziny życia oraz działalności człowieka. Postęp w tej dziedzinie spowodował rozwinięcie narzędzi do analizy i przetwarzania danych zgromadzonych w trakcie tego procesu. Dane przechowywane w cyfrowej formie zapisu dotyczą: geometrii obiektu, użytych materiałów, charakterystyki energetycznej, właściwości konstrukcji, przebiegu i części składowych wszystkich instalacji, kosztów realizacji,

BIM-Modellierung und Dokumentation by Bernhard Binder¹⁹. The topic is also discussed in many online sources: bimblog.pl²⁰ and GRAPHISOFT *BIM Curriculum*²¹, to name few.

The BIM model is a set of virtual data that constitutes a complete description of a building. It contains a database that is kept being updated and expanded²². This point of view on the approach to the construction process comes out from the tremendous development of IT techniques and its pressure on all areas of human life and activities. Progress in this area resulted in the development of tools for the analysis and processing of data collected in the process. Digitally stored data may relate to: object geometry, used materials, energy characteristics, construction properties, course and components of all installations, costs and stages of realisation, additional parameters of object equipment and fire safety, etc... In other words – all data essential for the object throughout its entire life cycle starting from its realisation, through exploitation, as well as its disposal. The model enables creating a visualisation, generating sketches for a fabrication, revising the conformity of elements, scanning for spatial collisions, costing and developing construction schedules. Due to the fact that changes implemented by one team member are instantaneously accessible to the rest of the team in the related sketches, the documentation remains valid constantly.

The origins of the BIM technology go back to the

dodatkowych cech wyposażenia obiektu, etapów realizacji oraz bezpieczeństwa przeciwpożarowego itp.. Innymi słowy wszelkich informacji niezbędnych w całym cyklu życia obiektu od realizacji, poprzez eksploatację, aż do utylizacji. Model taki umożliwia tworzenie wizualizacji, generowanie rysunków do fabrykacji, rewizje zgodności elementów, wyszukiwanie kolizji przestrzennych, kosztorysowanie oraz opracowywanie harmonogramów budowy. Ze względu na to, że zmiany dokonywane przez jedną osobę są automatycznie dostępne dla reszty zespołu i w powiązanych ze zmianą rysunkach, dokumentacja jest ciągle aktualna.

Początki technologii BIM sięgają końca lat 80' XX wieku²³. Odchodzenie architektów od deski kreślarskiej to był dość długi proces, zważywszy na to, że pierwsze wzmianki o możliwości zdefiniowania budynku w formie cyfrowego modelu pojawiły się już w latach 70-tych XX wieku w pracach prof. Charlsa Eastmana²⁴. Natomiast zanim rozwinęły się narzędzia bimowskie w powszechnym użyciu były systemy CAD (ang. *Computer-aided design*). Wspomagały one proces tworzenia budynku w ten sposób, że zastępowały deskę kreślarską i umożliwiały tworzenie rysunków i dokumentacji technicznej w postaci cyfrowego modelu geometrycznego. Dalszą konsekwencją rozwoju tego typu systemów było wprowadzenie trzeciego wymiaru do modelu, co umożliwiło operowanie na bryłach. Technologia ta zyskała nazwę *Object CAD Technology*. Umożliwiała ona już automatyczne generowanie płaskich rysunków na podstawie trójwymiarowych kształtów. Dalszy rozwój trendów i oprogramowania zmierzał już w kierunku opracowania technologii BIM. Świadczy o tym fakt, że we wczesnych latach różne firmy pracowały nad tym zagadnieniem pod różnymi nazwami. I tak *Graphisoft* tworzył *“Virtual Building”*. *Bentley Systems* opracowywał *“Integrated Project Models”*, a *Autodesk* i *Vectorworks* *“Building Information Modeling”*. Z czasem ugruntował się termin BIM, a cyfrowy zapis budynku doczekał się standardu IFC (ang. *Industry Foundation Classes*). Obecnie prowadzana jest standaryzacja *OPEN BIM*, która ma rozwiązać problemy związane z koordynacją przepływu informacji między partnerami i uniezależnia procesu tworzenia modelu od marki wykorzystywanego oprogramowania.

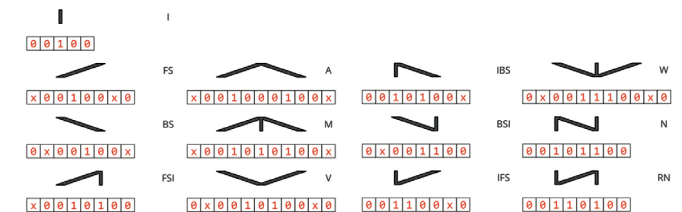
4. Projektowanie parametryczne elewacji - oprogramowanie

Podstawową przesłanką opracowania ćwiczenia laboratoryjnego polegającego na tworzeniu elewacji z użyciem projektowania parametrycznego była niedawno wprowadzona współpraca pomiędzy programem *ARCHICAD* (środowisko BIM), a program *GRASSHOPPER* (projektowanie parametryczne). Do tej pory osobno były wykonywane ćwiczenia laboratoryjne z projektowania parametrycznego, a osobno z pracy w technologii BIM. Do projektowania parametrycznego wykorzystywano następujące oprogramowanie: *RHINOCEROS* - rozbudowany modeler 3D wykorzystujący między innymi krzywe NURBS (ang. *Non-Uniform Rational B-Spline*) oraz *GRASSHOPPER* - dodatek do *RHINOCEROS* oferujący wizualny język programowania umożliwiający skryptowanie zależności geometrycznych. Stan ten zmienił plugin *Grasshopper ARCHICAD Live Connection*²⁵, który w prosty sposób umożliwia transfer geometrii z środowiska

end of the 1980's²³. Despite the fact that mentions about the possibility of building definition via its digital model appeared for the first time already in the 1970's in the papers of Professor Charles Eastman²⁴, the architects' departure from the drawing board was quite an extended process. However CAD (i.e. computer-aided design) systems had been widely used even before the BIM tools were developed. By that time those systems already had supported the process of creating a building in such a way that by replacement of the drawing board they enabled the creation of technical drawing and documentation in the form of a geometric digital model. A further step of the development of those systems was the implementation of three-dimensional models which gave rise to a solid geometry manipulation. This technique was called Object CAD Technology. It enabled automatic generation of flat technical drawings based on three-dimensional shapes. Further evolution of trends and a software was already heading towards to the development of BIM technology. This can be understood in the light of the fact that in the early years the same issue was under development by various companies and under different names: Graphisoft created “Virtual Building”, Bentley System developed “Integrated Project Models”, Autodesk and Vectorworks produced “Building Information Modeling”. As time went by the term BIM was forged and IFC (i.e. Industry Foundation Classes) was invented to standardise a digital form of a description of a building. At the moment OPEN BIM standardisation is being carried out. It is meant to solve problems connected with the coordination of information flow between partners and to make the process of model creation independent of the brand of a software used.

4. Parametric design of a facade – the software

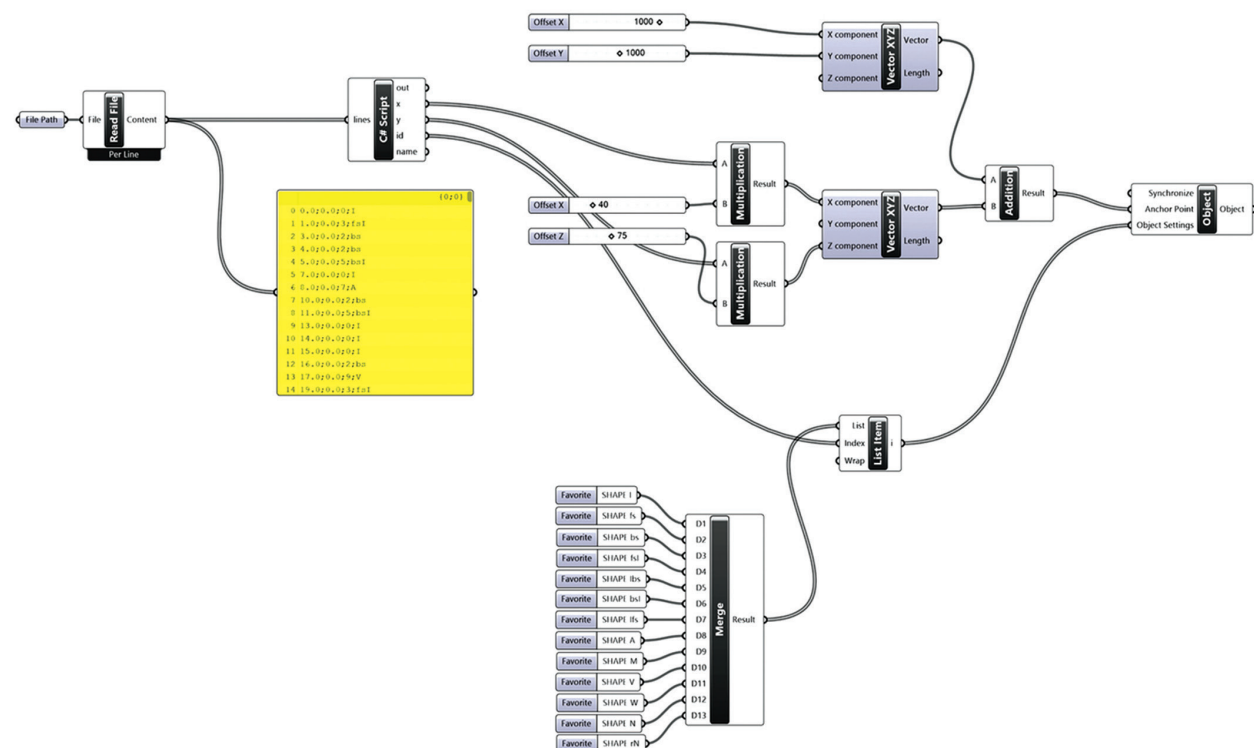
The basic premise for mapping out the laboratory exercise on the creation of a facade using parametric design was recently implemented software compatibility between the ArchiCAD (BIM environment) and the Grasshopper (parametric design). Thus far laboratory exercises on parametric design and those on operating within a BIM technology were carried out separately. For parametric design following software was used: Rhinoceros – an extended 3D modeler that uses, among others, NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) curves; Grasshopper – a Rhinoceros add-on containing a visual programming language which enables scripting of geometric relations. Facts are not the same since Grasshopper ArchiCAD Live Connection plug-in²⁵, which enables to easily transfer a geometry from Rhinoceros-Grasshopper environment into the ArchiCAD 21 software. The crucial point in this merger is a Grasshopper environment due to its main advantage i.e. the use of a visual programming language. In simple terms it consists of a graphical and a symbolical representation in the form of components/blocks: of which the first ones corresponds to geometric data, the second ones to operations that one can perform on them. By combining appropriate components/blocks one can build a script that reflects the relations between its parametrically described components. There are several cases when the application of this system of facade design may be a benefit. It may serve: to search for new forms and attractive design (form-finding); to optimise



RHINOCEROS-GRASSHOPPER do programu **ARCHICAD** 21. Najistotniejszym elementem w tym zestawie jest środowisko Grasshopper. Cechuje je wykorzystanie wizualnego języka programowania. Składa się on w uproszczeniu z graficznej i symbolicznej reprezentacji w postaci komponentów/klocków - po pierwsze geometrycznych danych - po drugie operacji, które można na nich wykonać. Zestawiając ze sobą odpowiednie komponenty/klocki buduje się skrypt odwzorowujący relacje między elementami opisane za pomocą parametrów. Wykorzystanie tego systemu przy projektowaniu elewacji może mieć zastosowanie w kilku przypadkach. Po-

II. 6 Algorytm z programu Grasshopper sterujący rozmieszczaniem kształtek w projektowanym systemie elewacyjnym (autor: inż. arch. Paweł Sikorski, prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Szymon Filipowski, mgr inż. arch. Michał Nessel, mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, mgr inż. arch. Rafał Zieliński)

III. 6. The Grasshopper program controlling the collocation of fittings in the designed facade system (Author: Eng. Arch. Paweł Sikorski, lecturer: MSc. Arch. Szymon Filipowski, MSc. Arch. Michał Nessel, MSc. Arch. Maciej Wójtowicz, MSc. Arch. Rafał Zieliński)



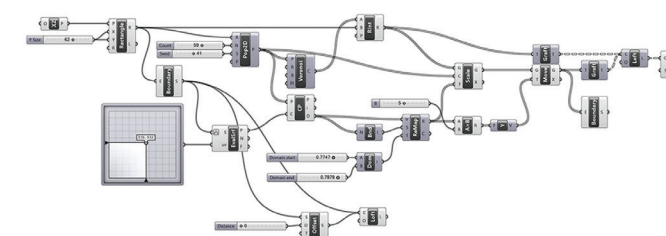
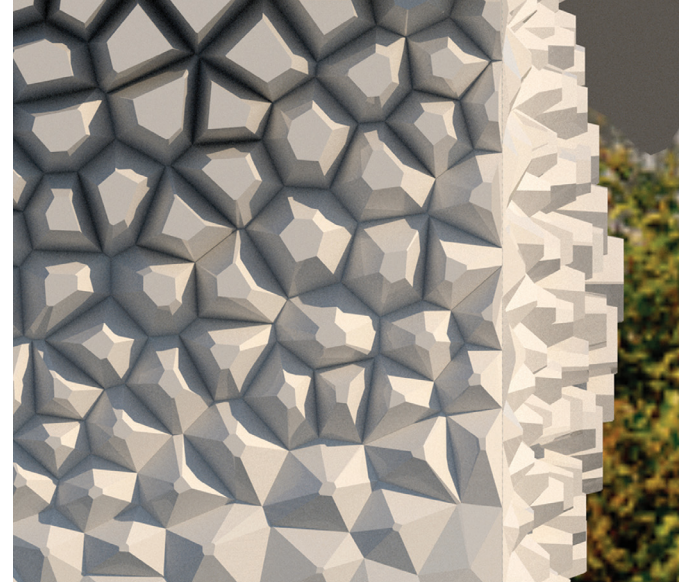
II. 5 Wzory kształtek ceramicznych zaprojektowanych parametrycznie możliwe do użycia w systemie elewacyjnym. (autor: inż. arch. Paweł Sikorski, prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Szymon Filipowski, mgr inż. arch. Michał Nessel, mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, mgr inż. arch. Rafał Zieliński)

III. 5. The patterns of parametrically designed ceramic fittings applicable for the facade system (Author: Eng. Arch. Paweł Sikorski, lecturer: MSc. Arch. Szymon Filipowski, MSc. Arch. Michał Nessel, MSc. Arch. Maciej Wójtowicz, MSc. Arch. Rafał Zieliński)

given problem (e.g. to find the smallest material consumption while shading the interior); to represent a complex and highly individualised geometry. In fact these three tasks occur simultaneously when designing a facade²⁶.

5. Parametric design of a facade – examples of realisations

The cycle of educational and design procedure (as described below) was partially inspired by examples showing the possibilities of parametrically designed shaping of a building facade emerging in existing architectural realisations. In order



II. 7 Ćwiczenie laboratoryjne z przedmiotu *Projektowanie parametryczne BIM* (autorzy: inż. arch. Jan Brożek, inż. arch. Łukasz Gunia, prowadzący zajęcia: prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Szymon Filipowski, mgr inż. arch. Michał Nessel, mgr inż. arch. Maciej Wójtowicz, mgr inż. arch. Rafał Zieliński)

III. 7. Laboratory exercise at the course Parametric BIM Design (Authors: Eng. Arch. Jan Brożek, Eng. Arch. Łukasz Gunia, lecturer: MSc. Arch. Szymon Filipowski, MSc. Arch. Michał Nessel, MSc. Arch. Maciej Wójtowicz, MSc. Arch. Rafał Zieliński)

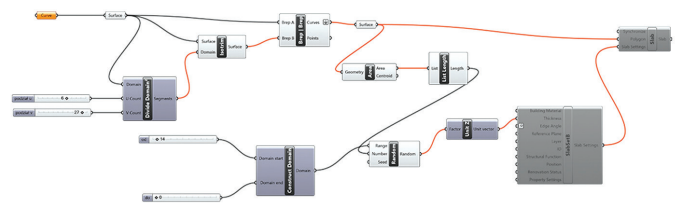
służyć on może do poszukiwania nowych form i atrakcyjnego wzornictwa (form-finding), do optymalizacji zdefiniowanego problemu (np. najmniejsze zużycie materiału przy jednoczesnym zacieleniu wnętrza) lub jako zapis złożonej zindywidualizowanej geometrii. Często w projektowanych elewacjach te trzy zagadnienia występują równocześnie²⁶.

Projektowanie parametryczne elewacji - przykłady realizacji. Jedną z inspiracji dla poniżej opisanego cyklu postępowania edukacyjno - projektowego stały się istniejące już realizacje architektoniczne, w których można zaobserwować możliwości kształtowania elewacji budynku w oparciu o projektowanie parametryczne. W celu zilustrowania studentom powyższego potencjału, wybrano przykłady, które zachowują prostą bryłę, a szczególnie wyraz architektoniczny uzyskiwany jest przez samo kształtowanie fasad.

Pierwszym z nich jest budynek administracyjny (Social Facilities) powstały w hiszpańskim mieście Roses na obszarze Katalonii²⁷. Projekt pracowni Exe arquitectura (zespół: Jaume Valor, Elisabeth Sadurní, Marc Obradó) cechuje wentylowana elewacja z perforowanych płyt z polimerobetonu (il.1). Elewacja powstała z kompozycji składającej się z 24 typów płyt. Każdy z nich posiada inny wzór utworzony z szeregu okrągłych otworów o różnych średnicach. Kolejnym przykładem jest zlokalizowane w Marsylii Muzeum cywilizacji europejskich i śródziemnomorskich (fr. *Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée* - MuCEM). Zaprojektowane zostało ono przez architekta Rudiego Ricciotti (il.1). Obiekt zrealizowany w 2013 roku zwraca szczególną uwagę swoją charakterystyczną ścianą osłonową wykonaną z ażurowej konstrukcji betonowej. Wzór betonowej siatki nawiązuje do świetlistych odbić powierzchni morza²⁸. Następny przykład

to illustrate the potential mentioned above to the students the examples were selected which can be characterised by concomitant simplicity of the exterior shell and the particular architectural expression coming solely from the shaping of its facade.

First of those to be mentioned is the administrative building (Social Facilities) established in the Spanish city of Rosas in the region of Catalonia²⁷. The building is based on the plans designed by the architecture office Exe Arquitectura (team consists of: Jaume Valor, Elisabeth Sadurní, Marc Obradó). It is notable for its ventilated facade made of a composition consisting of twenty four different types of perforated polymer concrete panels (Fig. 1). Each of them distinguishes itself due to unique pattern created from a series of round apertures of different diameters. As another example may serve The Museum of European and Mediterranean Civilisations located in Marseille (fr. MuCEM; Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée) which was designed by the architect Rudy Ricciotti (Fig. 2). The building constructed in 2013 is specially renowned by its remarkable curtain wall of an openwork concrete structure. Concrete grid pattern conjures up the luminous reflections of the sea surface²⁸. The facade of the next example evoked is arranged distinctly when compared to the previous examples. A Simple Factory Building is the Ayra Architects project completed in 2012 and built in the industrial district of Singapore. The facade of the building was accomplished according to a clearly comprehensible principle of geometrical relations. Thus as the height of the subsequent horizontal divisions goes down, the vertical shading elements become more inclined and shortened. The facade combines protection from an excessive sunlight with the view opening on the foreground of the building²⁹.



nich zagadnień uwzględniających elementy fizyki budowli jak nasłonecznienie lub izolacyjność cieplna, lecz należy mieć na uwadze, że są to aspekty projektowania, które dają się w przystępny sposób opisać sformalizowanym językiem. Natomiast nadal ciężko sobie wyobrazić model cyfrowy takich aspektów jak wartości estetyczne, bądź reakcje emocjonalne użytkowników. Sądzymy, że projektowanie komputacyjne powinno stać się uzupełnieniem warsztatu projektanta zaznajomionego z różnorodnymi metodami projektowymi, dlatego potencjał kryjący się w zaawansowanym jego wykorzystaniu powinien być wyeksponowany w edukacji architektonicznej. Ważnym aspektem, który przemawia za kształceniem przyszłych architektów, jest zastosowanie podejścia form-finding w projektowaniu. Wymusza ono w pewnym stopniu zastąpienie produkcji masowej przez indywidualizację masową oraz użycie rzemiosła cyfrowego, które jest naturalnym następstwem połączenia informatyzacji z przemysłem.

PRZYPISY

- ¹ J. Maeda, *Design By Numbers*, Cambridge 2001, *passim*.
- ² D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne 2013, *passim*.
- ³ A. Tedeschi, *AAD_ Algorithms Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Potenza 2016, *passim*.
- ⁴ M. Helenowska-Peschke, *Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury*, Gdańsk 2014, *passim*.
- ⁵ K. Januszkiewicz, *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Wrocław 2010, *passim*.
- ⁶ K. Januszkiewicz, *Systemy i narzędzia generatywne*, „Archivolta”, 2012, nr 4, s. 44-51.
- ⁷ K. Januszkiewicz, *Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym*, w: *Architecturae et Artibus*, vol.8 nr 3/2016, s. 43-60.
- ⁸ K. Januszkiewicz, *Czym jest projektowanie parametryczne ?*, (online) muratorplus.pl. Warszawa 2017. Dostępny w Internecie: <https://www.muratorplus.pl>

II. 10 Ćwiczenie laboratoryjne z przedmiotu *Techniki BIM w projektowaniu* (autor: Mateusz Grzesik, prowadzący zajęcia: mgr inż. arch. Rafał Zieliński)
III. 10. Laboratory exercise at the course BIM Techniques in Design (Author: Mateusz Grzesik, lecturer: MSc. Arch. Rafał Zieliński)

duction by a mass customisation and the use of digital craft which is a natural consequence of the amalgamation of computerisation and industry.

ENDNOTES

- ¹ J. Maeda, *Design By Numbers*, Cambridge 2001, *passim*.
- ² D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne 2013, *passim*.
- ³ A. Tedeschi, *AAD_ Algorithms Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Potenza 2016, *passim*.
- ⁴ M. Helenowska-Peschke, *Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury*, Gdańsk 2014, *passim*.
- ⁵ K. Januszkiewicz, *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Wrocław 2010, *passim*.
- ⁶ K. Januszkiewicz, *Systemy i narzędzia generatywne*, „Archivolta”, 2012, nr 4, s. 44-51.
- ⁷ K. Januszkiewicz, *Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym*, w: *Architecturae et Artibus*, vol.8 nr 3/2016, s. 43-60.
- ⁸ K. Januszkiewicz, *Czym jest projektowanie parametryczne ?*, (online) muratorplus.pl. Warszawa 2017. Online access (2018-05-10): <https://www.muratorplus.pl/technika/programy/czym-jest-projektowanie-parametryczne-aa-YNna-T22a-PNyR.html>
- ⁹ http://www.projektowanieparametryczne.pl/?page_id=2 (access 2018-05-05)
- ¹⁰ <https://www.danieldavis.com/> (access 2018-05-06)
- ¹¹ K. Januszkiewicz, *Projektowanie ... op.cit.*, p. 47.
- ¹² *Ibidem*, s. 48.
- ¹³ A. Tedeschi, *op. cit.*, *passim*.
- ¹⁴ L. H. Forbes, *Information and Communication Technology/Building Information Modeling* w: iidem, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, Boca Raton 2010, *passim*.
- ¹⁵ B. Hardin, D. McCool, *BIM and Construction Management*, Indianapolis 2015, *passim*.
- ¹⁶ A. Tomana, *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie*, Kraków 2015, *passim*.
- ¹⁷ D. Kasznia, J. Magiera, P. Wierzowiecki, *BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study*, Warszawa 2017, *passim*.

- pl/technika/programy/czym-jest-projektowanie-parametryczne-aa-YNna-T22a-PNyR.html (dostęp 10-05-2018)
- ⁹ http://www.projektowanieparametryczne.pl/?page_id=2 (dostęp 5-05-2018)
- ¹⁰ <https://www.danieldavis.com/> (dostęp 6-05-2018)
- ¹¹ K. Januszkiewicz, *Projektowanie ... op.cit.*, s. 47.
- ¹² *Ibidem*, s. 48.
- ¹³ A. Tedeschi, *op. cit.*, *passim*.
- ¹⁴ L. H. Forbes, *Information and Communication Technology/Building Information Modeling* w: iidem, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, Boca Raton 2010, *passim*.
- ¹⁵ B. Hardin, D. McCool, *BIM and Construction Management*, Indianapolis 2015, *passim*.
- ¹⁶ A. Tomana, *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie*, Kraków 2015, *passim*.
- ¹⁷ D. Kasznia, J. Magiera, P. Wierzowiecki, *BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study*, Warszawa 2017, *passim*.
- ¹⁸ R. Ślęk, *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*, Gliwice 2013, *passim*.
- ¹⁹ B. Binder, *Archicad 21 BIM-Modellierung und Dokumentation*, Niederfrohna 2017, *passim*.
- ²⁰ <http://www.bimblog.pl/informacje/> (dostęp 14-05-2018)
- ²¹ <http://www.graphisoft.com/learning/bim-curriculum/> (dostęp 14-05-2018)
- ²² A. Tomana, *op. cit.*, s. 58.
- ²³ *Ibidem*, s. 23.
- ²⁴ Forbes L. H., *op. cit.*, s. 213-220.
- ²⁵ <http://www.graphisoft.com/archicad/rhino-grasshopper/> (dostęp 20-02-2018)
- ²⁶ A. Tedeschi, *op. cit.*, *passim*.
- ²⁷ *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Dostępny w Internecie: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti> (dostęp 20-02-2018)
- ²⁸ *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Dostępny w Internecie: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti> (dostęp 20-02-2018)
- ²⁹ *A Simple Factory Building / Ayra Architects*. (online) ArchDaily. 2013. Access (2018-02-20): <https://www.archdaily.com/431860/a-simple-factory-building-pencil-office> (dostęp 20-02-2018)

LITERATURA

- [1] *A Simple Factory Building / Pencil Office*. (online) ArchDaily. 2013. Dostępny w Internecie: <https://www.archdaily.com/431860/a-simple-factory-building-pencil-office> (dostęp 20-02-2018)
- [2] Bernhard Binder *Archicad 21 BIM-Modellierung und Dokumentation*, Mironde Buchversand, Niederfrohna 2017
- [3] Davis D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. (online) Daniel Davis. Melbourne 2013. Dostępny w Internecie: <http://www.danieldavis.com/thesis/> (dostęp 12-03-2018).
- [4] Forbes L. H., *Information and Communication Technology/Building Information Modeling* w: iidem, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, CRC Press, Boca Raton 2010
- [5] Hardin B., McCool D., *BIM and Construction Management*, Wyd. Sybex, Indianapolis 2015.
- [6] Helenowska-Peschke M., *Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014
- [7] Januszkiewicz K., *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010
- [8] Januszkiewicz K., *Czym jest projektowanie parametryczne ?* (online) muratorplus.pl. Warszawa 2017. Dostępny w Internecie: <https://www.muratorplus.pl/technika/programy/czym-jest-projektowanie-parametryczne-aa-YNna-T22a-PNyR.html> (dostęp 10-05-2018)
- [9] Januszkiewicz K., *Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym*, w: *Architecturae et Artibus*, vol.8 nr 3/2016, s. 43-60,
- [10] Januszkiewicz K., *Systemy i narzędzia generatywne*, „Archivolta”, 2012, nr 4, s. 44-51.
- [11] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., *BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study*, Wyd.Naukowe PWN S.A., Warszawa 2017
- [12] Maeda. J., *Design By Numbers* (online) Massachusetts Institute of Technology. Cambridge 2001. Online access: <http://dbn.media.mit.edu/> (dostęp: 15.04.2018).
- [13] *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Dostępny w Internecie: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti> (dostęp 07-07-2018)
- [14] Ślęk R., *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2013
- [15] *Social Facilities in Roses / Exe arquitectura*. (online) ArchDaily. 2015 Dostępny w Internecie: <https://www.archdaily.com/773060/social-facilities-in-roses-exe-arquitectura> (dostęp 07-07-2018)
- [16] Tedeschi A., *AAD_ Algorithms Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Le Penseur, Potenza 2016
- [17] Tomana A., *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie*, Wyd. Witold Sadecki Seiton, Kraków 2015
- [18] <http://www.graphisoft.com/archicad/rhino-grasshopper/> (dostęp 20-02-2018)
- [19] <http://www.bimblog.pl/informacje/> (dostęp 14-05-2018)
- [20] <http://www.graphisoft.com/learning/bim-curriculum/> (dostęp 14-05-2018)
- [21] http://www.projektowanieparametryczne.pl/?page_id=2 (dostęp 5-05-2018)
- [22] <https://www.danieldavis.com/> (dostęp 6-05-2018)

- ¹⁸ R. Ślęk, *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*, Gliwice 2013, *passim*.
- ¹⁹ B. Binder, *Archicad 21 BIM-Modellierung und Dokumentation*, Niederfrohna 2017, *passim*.
- ²⁰ <http://www.bimblog.pl/informacje/> (dostęp 14-05-2018)
- ²¹ <http://www.graphisoft.com/learning/bim-curriculum/> (dostęp 14-05-2018)
- ²² A. Tomana, *op. cit.*, s. 58.
- ²³ *Ibidem*, s. 23.
- ²⁴ Forbes L. H., *op. cit.*, s. 213-220.
- ²⁵ <http://www.graphisoft.com/archicad/rhino-grasshopper/> (dostęp 20-02-2018)
- ²⁶ A. Tedeschi, *op. cit.*, *passim*.
- ²⁷ *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Access (2018-02-20): <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti>
- ²⁸ *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Access (2018-02-20): <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti>
- ²⁹ *A Simple Factory Building / Ayra Architects*. (online) ArchDaily. 2013. Access (2018-02-20): <https://www.archdaily.com/431860/a-simple-factory-building-pencil-office>

BIBLIOGRAPHY

- [1] *A Simple Factory Building / Pencil Office*. (online) ArchDaily. 2013. Online access: <https://www.archdaily.com/431860/a-simple-factory-building-pencil-office> (access: 20-02-2018)
- [2] Bernhard Binder *Archicad 21 BIM-Modellierung und Dokumentation*, Mironde Buchversand, Niederfrohna 2017
- [3] Davis D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. (online) Daniel Davis. Melbourne 2013. Online access: <http://www.danieldavis.com/thesis/> (access: 12-03-2018).
- [4] Forbes L. H., *Information and Communication Technology/Building Information Modeling* w: iidem, *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, CRC Press, Boca Raton 2010
- [5] Hardin B., McCool D., *BIM and Construction Management*, Wyd. Sybex, Indianapolis 2015.
- [6] Helenowska-Peschke M., *Parametryczno-algorytmiczne projektowanie architektury*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014
- [7] Januszkiewicz K., *O projektowaniu w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010
- [8] Januszkiewicz K., *Czym jest projektowanie parametryczne ?* (online) muratorplus.pl. Warszawa 2017. Online access: <https://www.muratorplus.pl/technika/programy/czym-jest-projektowanie-parametryczne-aa-YNna-T22a-PNyR.html> (access: 10-05-2018)
- [9] Januszkiewicz K., *Projektowanie parametryczne oraz parametryczne narzędzia cyfrowe w projektowaniu architektonicznym*, w: *Architecturae et Artibus*, vol.8 nr 3/2016, s. 43-60,
- [10] Januszkiewicz K., *Systemy i narzędzia generatywne*, „Archivolta”, 2012, nr 4, s. 44-51.
- [11] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., *BIM w praktyce Standardy wdrożenia case study*, Wyd.Naukowe PWN S.A., Warszawa 2017
- [12] Maeda. J., *Design By Numbers* (online) Massachusetts Institute of Technology. Cambridge 2001. Online access: <http://dbn.media.mit.edu/> (access: 15.04.2018).
- [13] *MuCEM / Rudy Ricciotti* (online) ArchDaily. 2013 Online access: <https://www.archdaily.com/400727/mucem-rudy-ricciotti> (access: 07-07-2018)
- [14] Ślęk R., *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2013
- [15] *Social Facilities in Roses / Exe arquitectura*. (online) ArchDaily. 2015 Online access: <https://www.archdaily.com/773060/social-facilities-in-roses-exe-arquitectura> (access: 07-07-2018)
- [16] Tedeschi A., *AAD_ Algorithms Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Le Penseur, Potenza 2016
- [17] Tomana A., *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie*, Wyd. Witold Sadecki Seiton, Kraków 2015
- [18] <http://www.graphisoft.com/archicad/rhino-grasshopper/> (access: 20-02-2018)
- [19] <http://www.bimblog.pl/informacje/> (access: 14-05-2018)
- [20] <http://www.graphisoft.com/learning/bim-curriculum/> (access: 14-05-2018)
- [21] http://www.projektowanieparametryczne.pl/?page_id=2 (access: 5-05-2018)
- [22] <https://www.danieldavis.com/> (access: 6-05-2018)