

Ewelina Gawell, Anna Stefańska
Politechnika Warszawska

Idea fabrykacji elementów strukturalnych w kształtowaniu współczesnych pawilonów

Streszczenie

Digitalizacja narzędzi pracy architekta wpływa na sposób współdziałania dyscyplin związanych z powstawaniem architektury. Z jednej strony zmieniają się tendencje i dzięki wykorzystaniu algorytmów możliwe staje się powielanie wzorców bionicznych o złożonej budowie, a z drugiej strony o jakości projektowanych rozwiązań coraz częściej decydują procesy optymalizacyjne prowadzone na różnych obszarach działalności techniczno-technologicznej. Modelowanie architektury w przestrzeni komputerowej, w tym także współdziałanie inżynierów na platformie BIM (Modelowanie Informacji o Budynku) spowodowało większe niż dotychczas zainteresowanie formami, których geometria wykracza poza paradygmaty euklidesowe. Istotnym i niezmiennym elementem w kształtowaniu współczesnych form strukturalnych pozostaje logika inżynierska – konstrukcyjna, budowlano-materiałowa, geometryczna.

Słowa kluczowe: pawilony, fraktale, algorytmy, fabrykacja.

Wprowadzenie

Idea prefabrykacji elementów konstrukcyjno-budowlanych stanowiła przełom w technologiach realizacyjnych. Jej celem były: szybkość wytwarzania, szybkość montażu, powtarzalność i precyzja wykonania, a także możliwość osiągnięcia lepszych parametrów technicznych, co przekładało się bezpośrednio na kształtowanie elementów strukturalnych (większa rozpiętość, mniejsza geometria konstrukcyjna itp.). Pomimo iż projekt powtarzalnej struktury słupowo-płytkowej domu Domino autorstwa Le Corbusiera z 1914 r. nigdy nie został zrealizowany, zapoczątkował wielką prefabrykację betonową, która trwa do dziś (Adamczewski, Woyciechowski 2015). W powojennej Polsce masowa produkcja elementów konstrukcyjno-budowlanych spowodowała ogólne złe skojarzenia z prefabrykacją, ale od lat 90. postępuje wzrost zainteresowania tym zagadnieniem. Ważnym elementem rozwoju we współczesnej fabrykacji jest poszukiwanie nowych materiałów oraz doskonalenie technologii realizacyjnych m.in. za pomocą maszyn cyfrowych wspomagających procesy wytwarzania. Dodatkowy istotny wpływ mają pojawiające się nowe tendencje w kształtowaniu rozwiązań architektoniczno-konstrukcyjnych, których ważnym aspektem jest optymalizacja kształtu.

Modelowanie generatywne a modułowość – rekurencja i samopodobieństwo w optymalnym kształtowaniu form strukturalnych

Cyfryzacja narzędzi pracy architekta spowodowała wzrost zainteresowania wzorcami bionicznymi, które dotychczas były zbyt trudne do naśladowania. Inspiracja przyrodą w architekturze nie jest nowym zjawiskiem – znane są m.in. motywy roślinne budowli secesyjnych, organiczne kształty żelbetowych form strukturalnych autorstwa wybitnych inżynierów, takich jak: Eero Saarinen, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi czy wreszcie poszukiwania synergii pomiędzy architekturą i konstrukcją Santiago Calatravy. Jednakże przełom w tej dziedzinie dokonał się współcześnie, kiedy algorytmizacja umożliwiła naśladowanie struktury budowy, a także procesów biologicznego rozwoju organizmów żywych.

Jedną z metod uproszczonego zapisu wzorców bionicznych stanowi geometria fraktalna, która opisuje fraktale – obiekty samopodobne wykazujące drobną strukturę dla dużego zakresu powiększeń. Charakterystyka elementów w geometrii fraktalnej określana jest za pomocą samopodobieństwa (każda część fraktalna na dowolnie niskim poziomie jego budowy ma budowę dokładnie przypominającą całość), wymiaru fraktalnego (opisującego stopień chropowatości fraktala) oraz konstrukcji iteracyjnej (powtarzanie tej samej procedury nieskończoną ilość razy). Dzięki stworzonej przez Mandelbrota w 1975 r. jednolitej teorii fraktali możliwe stało się opisanie i badanie osobliwych konstrukcji geometrycznych, o nieregularnej i poszarpanej budowie, które do tego momentu traktowane były w matematyce jako szczególnie, nieopisywalny przypadek. Mandelbrot stworzył język, który umożliwił integrację wszystkich wcześniejszych obiektów fraktalnych (m.in. zbiór Cantora, krzywa Kocha, krzywa Peana, krzywa Gilberta, trójkąt Sierpińskiego) i zauważył, że to, co wydawało się wyjątkiem w matematyce, stanowi regułę w otaczającym nas świecie przyrody. Zaobserwowane w naturze odpowiedniki fraktali, takie jak np. chmury, rośliny, czy układy tektoniczne naszej planety, potwierdzają przypuszczenie, że teoria fraktalna jest naturalną drogą rozwoju i przemian, które zachodzą we wszechświecie. Jest jednocześnie językiem matematycznym, za pomocą którego możemy zapisać np. zjawisko wytworzone przez naturę, nawet jeśli wydaje się pozornie chaotyczne i przypadkowe. Dzięki rozwijającej się technice komputerowej możliwe stają się coraz dokładniejsze badania w zakresie teorii fraktalnej, a umiejętność posługiwania się językiem fraktalnym pozwala na tworzenie geometrii, która jest naturalną drogą rozwoju. Interesującym działaniem jest wykorzystanie geometrii chaotycznych struktur w architekturze i wykazywanie złożoności opartej na specyficznym porządku i podobieństwie. Jest to szczególnie interesujące z punktu widzenia prefabrykacji, którą współcześnie coraz częściej charakteryzuje idea postfordyzmu, gdzie dążenie do unifikacji nie wyklucza się z twórczym poszukiwaniem rozwiązań indywidualnych.

Wiele spośród znanych i opisanych w matematyce klasycznej konstrukcji fraktalnych naśladuje kształty obserwowane w przyrodzie. Na przykład przypominająca budowę płatk

śniegu krzywa Kocha, czy fraktal paproć Barnsleya, nazwany tak ze względu na uderzające podobieństwo do występującego w naturze liścia paproci. Wykorzystując konstrukcję tzw. drzewa pitagorejskiego, węgierski biolog Aristid Lindenmayer wprowadził w 1968 r. pojęcie L-systemów. L-system to cyfrowy generator struktur fraktalnych wiernie odzwierciedlający dynamikę wzrostu roślin. Dzięki generatywnym narzędziom projektowania, opartym na iteracji danego kodu algorytmicznego, można generować obserwowane w przyrodzie konstrukcje swobodne o budowie fraktalnej (Rokicki, Wysokińska 2012). Dodatkowo L-systemy umożliwiają stworzenie wirtualnego mikroklimatu, łącząc grawitację, tropizm, kontakty między różnymi elementami struktury modelu – „rośliny” oraz kontakt z przeszkodami (Januszkiewicz 2010). Modelowanie formy w takim ujęciu stwarza możliwości włączenia do procesu wzrostu inne reagujące z nim systemy jak np. gromadzenie wody deszczowej i energii słonecznej.

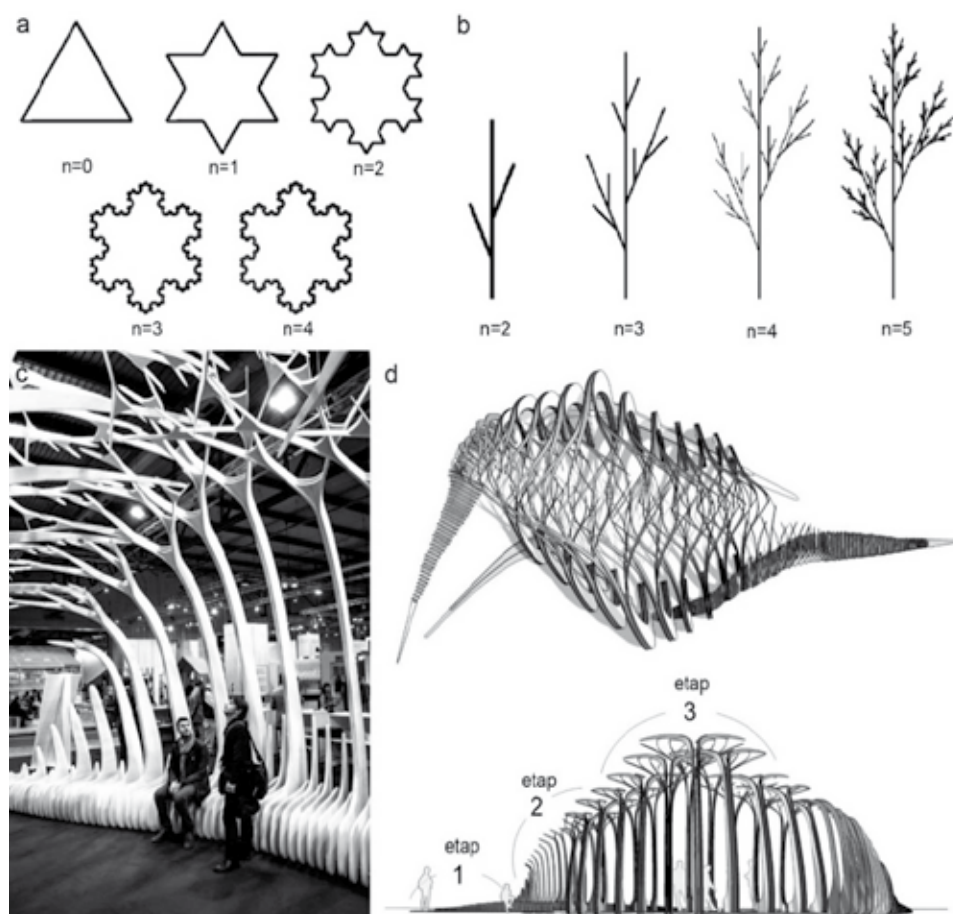
Interesującym przykładem wykorzystania obrazu fraktalnego w kształtowaniu formy strukturalnej jest *Fractal Forest: Monalisa Pavilion*. Projekt powstał w ramach warsztatów prowadzonych przez Iana Md Riana na Politechnice w Turynie, a sam obiekt został zaprezentowany na wystawie *MadeExpo* w Mediolanie w październiku 2012 r. Forma pawilonu opisuje historię wzrostu topoli – poszczególne etapy jej rozwoju są widoczne w elementach strukturalnych ułożonych w odpowiedniej sekwencji. Ideę zaprezentowania w przestrzeni procesu rozwoju biologicznego można podzielić na 3 części: okres, w którym roślina jest zamknięta w ziarenku, etap wzrostu i dojrzewania rośliny, która ma wyraźnie zarysowaną strukturę drzewa, oraz stan, w którym drzewo staje się materiałem budowlanym (Md Rian 2012). Okres wczesnego rozwoju topoli został wyrażony w instalacji, która poprzedza wejście do pawilonu – w tej strefie znajdują się m.in. ławki. Etap drugi, kiedy młode oraz dojrzałe drzewa łączą się w rodzinę tworzącą las, stanowi główną strefę pawilonu – podpory drzewiaste o zróżnicowanej geometrii chylą się do wnętrza i opierają o siebie nawzajem, tworząc zadaszenie pawilonu. Dojrzałe topole „rozrastają się” na tyle, że u ich podnóża powstają siedziska, a rozbudowane korony tworzą schronienie przed słońcem. Etap trzeci, końcowy w cyklu „życia” drzewa, został wyrażony w technologii budowlano-materiałowej pawilonu. Poszczególne elementy strukturalne wykonano bowiem ze sklejki topolowej. W poszukiwaniu kształtu wykorzystano generatywne narzędzia modelowania (*Rhinoceros*, *Grasshopper*, *Python*), posługując się logiką fraktalną tworzenia drzew pitagorejskich (L-system). Dodatkowo, w programie obliczeniowym *ANSYS*, wykonano analizy statyczno-wytrzymałościowe w celu doprecyzowania wymiarów elementów strukturalnych. Ponieważ dobór odpowiedniej technologii wykonawczej nie był oczywisty, forma pawilonu urzeczywistniała się stopniowo – najpierw wykonano model w mniejszej skali i poddano go adekwatnie mniejszym obciążeniom, następnie powstała forma docelowa, ale złożona początkowo z jednej warstwy sklejki i stopniowo wzmocniana kolejnymi warstwami materiału.

Zastosowanie geometrii fraktalnej było również inspiracją do zaprojektowania pawilonu *FracShell*. Główną intencją autorów było wygenerowanie krzywoliniowej struktury przestrzennej o gładkiej powierzchni bez załamań – w tym celu wykorzystano paraboloide.

Zastosowany wzór fraktalny opiera się na powierzchni Takagi-Landsberga, która została oparta na obliczeniach generatywnych przy użyciu przekształceń zwężających IFS (z ang. Iterated Function System). Zastosowana analiza numeryczna z użyciem Metody Elementów Skończonych miała na celu wygenerowanie racjonalnej siatki strukturalnej (wskazanie optymalnej liczby iteracji wzoru fraktalnego) oraz zweryfikowanie przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

Ilustracja 1

Geometria obrazu fraktalnego

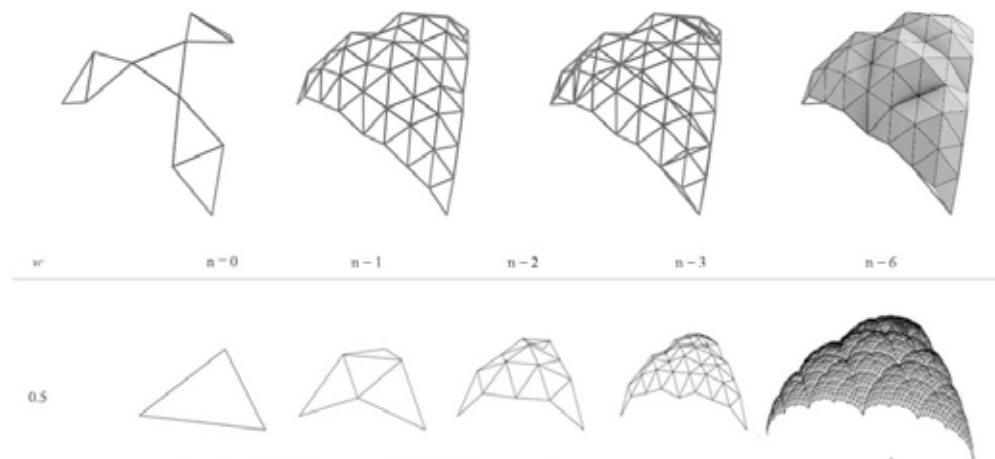


Uwaga: a – Krzywa Kocha; b – rekurencja struktury drzewiastej wygenerowana za pomocą Lindenmayer system; Fractal Forest: Monalisa Pavilion, 2012 – proj. Ian Md Rian we współpracy ze studentami Politechniki w Turynie; c – pawilon podczas prezentacji na wystawie MadeExpo w Mediolanie; d – cyfrowy model strukturalny pokazujący poszczególne etapy biologicznego rozwoju topoli.

Źródło: (www1).

Ilustracja 2

Proces powstawania geometrii zadaszania *FracShell*, 2014 – proj. Ian Md Rian we współpracy ze studentami Politechniki w Turynie



Źródło: (www2).

Współczesne technologie materiałowe w prefabrykacji

Rozwój nowoczesnych programów komputacyjnych i możliwość modelowania form strukturalnych w geometrii nieeuklidesowej za pomocą algorytmów ujawniły nieznane dotąd zagadnienia wykonawcze. Jednym z nich jest realizowanie złożonej i często nieregularnej struktury technicznej, stanowiącej szkielet konstrukcyjny. Fabrykacja jest obecnie jednym z bardziej interesujących działań mających na celu urzeczywistnienie modeli cyfrowych za pomocą realnych materiałów i dostępnych technologii budowlanych.

Jednocześnie digitalizacja narzędzi wykorzystywanych w fabrykacji generuje dynamiczny rozwój procesów związanych z etapem wykonywania obiektów budowlanych, wpływając na szereg aspektów takich jak np.: projektowanie elementów i węzłów, zarządzanie procesem wytwarzania i montażu. Wśród technologii związanych z fabrykacją elementów strukturalnych można współcześnie wskazać trzy najbardziej istotne: technologię addytywną, subtraktywną oraz formatywną. Główna różnica pomiędzy tymi technologiami wynika ze sposobu pracy z materiałem – w metodzie addytywnej mamy do czynienia z łączeniem kolejnych warstw materiału, czego przykładem jest np. druk 3D – polegający na wytwarzaniu przyrostowym, w metodzie subtraktywnej mamy do czynienia z odejmowaniem materiału m.in. za pomocą frezarek CNC, cięcia laserowego itp. Metoda formatywna z kolei charakteryzuje się użyciem robotów czy dronów do montowania elementów konstrukcji w odpowiednim miejscu.

Technologie addytywne

Druk 3D zazwyczaj kojarzony jest z tworzeniem elementów w małej skali, co w praktyce architektonicznej przejawia się w popularnym zastosowaniu drukarek trójwymiarowych do produkcji modeli. Współczesne druki 3D znajdują zastosowanie w realizacji obiektów budowlanych, co stało się możliwe dzięki wykorzystaniu takich materiałów jak plastik, metal, beton czy druk proszkowy. Przykładem obiektu architektonicznego wykonanego w całości w technologii addytywnego druku 3D jest Pawilon Vulcan, zaprojektowany przez architektów Yu Lei oraz Xu Feng i wykonany przez pracownię Laboratory for Creative Design (LCD), zaprezentowanego podczas Beijing Design Week w październiku 2015 r. Pawilon składa się z 1086 oddzielnych elementów strukturalnych drukowanych na drukarce 3D, osiągając rozpiętość pomiędzy podporami ponad 8 m oraz wysokość w najwyższych punktach prawie 3 m. Pawilon w całości został wykonany z jednego materiału – filamentu do drukarek 3D. Układ konstrukcyjny tworzą trzy zewnętrzne podpory, które zbiegają się w kształcie łuków do wnętrza pawilonu. Dzięki zastosowaniu powtarzalności (wszystkie trzy części pawilonu są jednakowe) znacząco uproszczono rozwiązania techniczno-technologiczne. Sposób kształtowania poszczególnych elementów struktury był zainspirowany zachowaniem jedwabników – analizowano sposób, w jaki prowadzą swoje nici, jak wytwarza-

Ilustracja 3

Pawilon Vulcan



Źródło: (www3).

ją kokony, a także badano właściwości materiałowe nici wytwarzanych przez te organizmy. Algorytm opisujący sposób prowadzenia nici przez jedwabnika posłużył jako wzór w celu naśladowania tego procesu za pomocą drukarek 3D. W pawilonie zostały zastosowane 2 typy faset: ażurowe trójkątne, występujące w centralnych częściach łuków oraz poligonalne pełne, usytuowane u podstawy łuków (przy podporach). Dodatkowo wzmocniono wybrane elementy konstrukcyjne. Głównym zamierzeniem projektantów było zaprojektowanie obiektu opartego na logice zastosowanego materiału, a także wykorzystanie druku 3D do wykonania jednolitej struktury architektoniczno-konstrukcyjnej. Do realizacji pawilonu wykorzystano 20 drukarek 3D, czas druku wszystkich elementów wyniósł 30 dni, a całość była składana przez 15 osób w 12 dni.

Technologie subtraktywne

Technologie subtraktywne są częściej wykorzystywane w realizacjach architektonicznych z uwagi na możliwość uzyskania elementów o większych rozmiarach i rozpiętościach. Przykładem obiektu, który został wykonany przy pomocy powyższej technologii, jest Pawilon Swoosh, który był zrealizowany w 2008 r. na Festiwalu Architektury w Hooke Park w Londynie, gdzie corocznie prezentowany jest najlepszy projekt studencki. Autorem projektu Pawilonu Swoosh jest Valeria Gracia Abarca, a prowadzącymi zajęcia projektowe byli Charles Walker i Martin Self. Instalacja o długości ok. 60 m składa się z 653 elementów drewnianych (fornir o grubości od 2,7 do 5,1 cm), które zostały wycięte za pomocą wycinarki CNC, następnie ręcznie szlifowane i finalnie łączone wsporczo za pomocą stalowych połączeń. Głównym zamierzeniem projektowym było stworzenie formy lekkiej dającej poczucie bycia w ruchu. Powierzchnia strukturalna pawilonu łączy zamierzony wyraz plastyczny

Ilustracja 4

Pawilon Swoosh, widoki



Źródło: (www4).

z logiką konstrukcyjną i trudno jest wskazać elementy czysto techniczne. Nieregularna powierzchnia strukturalna styka się z gruntem w trzech miejscach, tworząc każdorazowo inny rodzaj podpory. W jednym miejscu podpora „rozrasta” się do funkcji siedziska, w drugim fragmenty struktury schodzą do fundamentu niczym łuki, tworząc ażurową przegrodę – kolumnadę. Trzecia podpora to przestrzenny słup, spinający wybrane łuki zadaszenia. Z uwagi na fakt, że części niektórych żeber nie dało się wytworzyć jako jeden element, w trakcie projektowania zastosowano krótsze, które potem łączono na budowie. Pawilon zaprojektowano w taki sposób, że w jego centrum znajduje się punkt symetrii, a wszystkie elementy konstrukcyjne rzutowane na powierzchnię posadzki będą pokrywać się z rzutem.

Technologie formatywne

Najnowsze i najbardziej innowacyjne z obecnych technologii realizacyjnych są technologie formatywne wykorzystujące roboty i maszyny samosterujące. Z uwagi na fakt, że ta technologia jest w fazie doskonalenia, jej możliwości nie są jeszcze w pełni poznane. W początkowej fazie robotyzacji procesów wykonawczych używano robotów lub dronów wyposażonych w odpowiedni algorytm, według którego ustawiane były poszczególne gotowe elementy. Przykładem takiego działania jest m.in. parametryczna ściana winnicy stworzona za pomocą robota firmy KUKA na podstawie projektu Gramazio & Kohler. Obecnie w ETH w Zurichu prowadzone są badania nad zastosowaniem robotów do budowy z materiałów o nieprzewidywalnych kształtach (np. beton porożbiórkowy) – celem projektantów jest, by maszyna samosterująca nie tylko kontrolowała sposób układania elementów, ale także rozpoznawała materiały i dobierała je w sposób racjonalny pod względem wyznaczonych kryteriów. Rozwój technologii formatywnych jest jednym z bardziej interesujących zagadnień współczesnego budownictwa – robotyzacja prac wykonawczych ma bowiem na celu ich ułatwienie i unowocześnienie, podniesienie jakości, a także skrócenie czasu realizacji obiektów budowlanych.

Przykładem zastosowania technologii formatywnych do fabrykowania elementów strukturalnych są pawilony wykonywane w Institute for Computational Design (ICD) w połączeniu z Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) w Stuttgarcie. W 2015 r., po 1,5 rocznej pracy projektowej, przy wykorzystaniu robota zrealizowano pawilon oparty na wzorach zaczerpniętych z systemów bionicznych. Inspiracją do projektowanej instalacji był system zachowań pająka wodnego, który by przeżyć, formuje wokół siebie kokon chroniący go przed środowiskiem wodnym. Aplikując zaczerpnięty z przyrody wzorec, postanowiono w procesie realizacji pawilonu wykorzystać robota przemysłowego, którego umieszczono w napełnionej powietrzem membranie ETFE. Początkowo powłoka wspierana była poprzez wywierane na nią ciśnienie powietrza po to, by robot mógł rozprowadzić na powierzchni membrany nici z włókna węglowego, które po utwardzeniu utworzyły samonośną mono strukturę.

Ilustracja 5

ICD/ITKE pawilon 2014-2015



Źródło: (www6).

Podsumowanie

Cyfryzacja narzędzi modelowania prowadzi do tworzenia rozwiązań tektonicznych, których geometria nierzadko wykracza poza paradygmaty geometrii euklidesowej. Wzorowanie się na strukturach bionicznych to obecnie jedna z bardziej frapujących tendencji w architekturze, a co istotne, powodem takich działań jest poszukiwanie racjonalnych rozwiązań z uwagi na minimalne zużycie energii. Wzorce bioniczne wbrew swej pozornej chaotyczności charakteryzują się logiką strukturalną, rozwojową, materiałową – to dzięki niej możliwe jest poszukiwanie rozwiązań indywidualnych i jednocześnie zunifikowanych.

Wraz z rozwojem eko-efektywnych nurtów w architekturze podąża rozwój technologii budowlano-materiałowych. Złożone i nieregularne formy strukturalne wymagają nowatorskiego, a coraz częściej także autorskiego podejścia do technologii realizacyjnych. Zagadnienia inżynierii materiałowej, jak i możliwości prefabrykacji są głównym nurtem współpracy interdyscyplinarnej pomiędzy architekturą i budownictwem. Obecnie już w fazie projektowania komputacyjnego wykorzystywane są właściwości materiałów, z których wytwarzane będą obiekty, widoczne jest tutaj przejście ze znanego stwierdzenia *form follow function* (Sullivan) na postindustrialne (postfordowskie) *form follows material*. Dzięki algorytmizacji narzędzi wykorzystywanych w prefabrykacji elementów budowlanych inspiracja technologią Natury wkracza w kolejny wymiar – naśladowania zachowań organizmów żywych. Roboty sterujące procesem powstawania architektury wydają się nieodległą przyszłością. Zacierają się różnice pomiędzy fabrykacją i prefabrykacją – czy budynek drukowany to prefabrykacja, w której posunięto do granic proces montażu, czy może fabrykacja elementu strukturalnego tak wyjątkowego, że sam jest architekturą?

Bibliografia

Monografie i opracowania

Adamczewski G., Woyciechowski P. (2015), *Prefabrykacja w XXI wieku*, „Inżynier Budownictwa”, http://www.inzynierbudownictwa.pl/dodatki_specjalne,prefabrykaty,artykul,prefabrykacja_w_xxi_wieku,8157 [dostęp: 23.04.2018].

- Januszkiewicz K. (2010), *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych – stan aktualny i perspektywy rozwoju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Md Rian I. (2013), *Fractal Forest (Monalisa) Pavilion: MadeExpo 2012, Milan*, „Architecture, Fractal & Nature – www.iasefmdrian.com”, <https://iasefmdrian.wordpress.com/tag/poplar/> [dostęp: 25.04.2018].
- Rokicki W., Wysokińska E. (2012), *Algorytmy w kształtowaniu form strukturalnych w architekturze*, (w:) Dornowski W. (red.), *Problemy Współczesnej Architektury i Budownictwa*, Materiały Konferencji Naukowej ARCHBUD 2012, Warszawa.

Netografia

(www1)

a – https://www.researchgate.net/figure/The-structure-of-Koch-Snowflake-fractal-geometry-with-different-iteration-levels_fig1_305993823 [dostęp: 26.04.2018];

b – <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2095263514000363-gr25.jpg> [dostęp: 26.04.2018];

c – <http://www.archilovers.com/projects/97503/monalisa-pavilion.html> [dostęp: 26.04.2018];

d – <http://www.parametriccamp.com/en/2012/06/scholarships-milan-2012/> [dostęp: 26.04.2018].

(www2) <https://www.iasefmdrian.com/fractal-gridshell> [dostęp: 26.04.2018].

(www3) <https://www.urdesignmag.com/architecture/2015/10/08/vulcan-worlds-largest-3d-printed-pavilion-by-laboratory-for-creative-design/> [dostęp: 26.04.2018].

(www4) <https://www.archdaily.com/776169/lcds-vulcan-awarded-guinness-world-record-for-largest-3d-printed-structure> [dostęp: 26.04.2018].

(www5) <https://www.dezeen.com/2008/07/15/swoosh-pavilion-at-the-architectural-association/> [dostęp: 26.04.2018].

(www6) https://www.archdaily.com/770516/icd-itke-research-pavilion-2014-15-icd-itke-university-of-stuttgart?ad_medium=gallery [dostęp: 26.04.2018].

The Idea of Structural Elements' Fabrication in the Design of Contemporary Pavilions

Summary

The digitization of architect's tools affects the interaction between design disciplines. With the change in trends, the use of algorithms allows us to replicate complex bionic patterns, while process optimization in various technological fields ever increasingly defines architectural quality. Computer aided architectural modeling including BIM (Building Information Modeling) collaboration between the industries results in an even greater interest in non-Euclidean geometrical forms. Only engineering logic-pertaining to construction, structural solutions, materials and geometry remains an important and invariable element in the design of contemporary structural forms.

Key words: pavilions, fractals, algorithm, fabrication.

Artykuł zaakceptowany do druku w czerwcu 2018 r.

© All rights reserved

Afiliacja:

dr inż. arch. Ewelina Gawell

mgr inż. arch. Anna Stefańska

Politechnika Warszawska

Wydział Architektury

ul. Koszykowa 55

00-659 Warszawa

e-mail: gawellewelina@gmail.com

e-mail: anna.klara.stefanska@gmail.com