

Odkrycie i wykorzystanie szans stwarzanych przez nieustannie rozwijającą się technologię komputerową jest istotnym wyzwaniem stojącym przed wszystkimi profesjami związanymi z projektowaniem technicznym.

Idea zastosowania komputerów w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym została zaprezentowana przez D.C. Engelbarta już w 1962 roku, w publikacji pt. *Augmenting Human Intellect* (ang. Wzmacnianie ludzkiego intelektu). Przedstawia ona wizję programu pozwalającego tworzyć szczegółowy, spisty zapis projektowanego artefaktu, zawierający specyfikacje i umożliwiające analizy funkcjonalne i użytkowe. Kolejne dwie dekady to okres wysiłków badaczy, głównie z amerykańskich i angielskich ośrodków akademickich, stanowiących zaplecze badawczo-rozwojowe systemów przeznaczonych architekturze i przemysłowi konstrukcyjno-budowlanemu.

Wczesne programy do prac projektowych były zbyt zawodne, a także za drogie dla większości biur architektonicznych; stanowiły jednak ważną ilustrację możliwości zmiany utartych procedur pracy (np. opracowane przez Applied Research of Cambridge Ltd systemy OXSYS i HARNES, które usprawniały projektowanie

budynków szpitalnych z prefabrykowanymi komponentami). Przełom w powszechnej praktyce nastąpił dzięki boomowi informatycznemu lat 80., który przyniósł masowo produkowane komputery osobiste (IBM PC/XT w 1983 r.) oraz komercyjne programy CAD (ang. *Computer Aided Drafting/Design*). Zawiązały się międzynarodowe organizacje zrzeszające technologicznie i nowatorsko zorientowanych architektów, m.in. *Association for Computer Aided Design in Architecture* (od 1981 r.) czy *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe* (od 1983 r.). Wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej procesorów kolejne generacje programów typu CAD/CAE/CAM zyskiwały nowe, wyrafinowane narzędzia (modelowanie 3D, renderowanie, analizy konstrukcyjne i użytkowe, przesył danych do cyfrowej produkcji komponentów itd.), wpływając na zmianę warsztatu projektowego. Technologie komputerowe w praktyce architektonicznej używane są m.in. do:

- zarządzania procesem projektowym i organizacji praktyki biurowej, koordynacji pracy konsultantów i specjalistów, wymiany informacji projektowej;
- analizowania na podstawie modeli 3D różnych parametrów fizycznych projektowanych obiektów i ich oddziaływania środowiskowego;

Maria Helenowska-Peschke

absolwentka Wydziału Architektury Politechniki Gdańskiej gdzie obecnie wykłada w Katedrze Sztuk Wizualnych. Jej zainteresowania naukowe koncentrują się wokół wpływu technologii informatycznych na współczesną teorię i praktykę architektoniczną oraz ich wykorzystania

w procesie kształcenia architektonicznego. Autorka wielu publikacji w języku polskim i angielskim, m.in. na temat problematyki związanej z identyfikacją nowych trendów w teorii i praktyce projektowej, w tym rozwoju nowatorskich metod, narzędzi i sposobów organizacji procesu projektowania.

I. Technologia komputerowa wspomaga pracę architekta na każdym jej etapie, źródło: www.thinkstockphotos.com

- rozwoju idei projektu na bazie modelowania i analiz, a także tworzenia cyfrowych reprezentacji projektu, tj. rysunki 2D i modele 3D do celów prezentacyjnych;
- bezpośredniego przesyłu danych geometrycznych z modeli 3D do wytwarzania CNC i druku 3D.

W kolejnych latach można spodziewać się dramatycznych zmian w przepływie pracy w całej branży architektoniczno-budowlanej, związanych z rozwojem i upowszechnianiem się technologii BIM.

Ewolucja narzędzi CAD

Pierwsza generacja programów dla projektantów (AutoCAD od 1981 r., CADRA 2D od 1983 r., MicroStation od 1984 r.) stanowiła znacznie ulepszone „cyfrowe deski kreślarskie”, umożliwiające sporządzanie rysunków 2D. W powiązaniu z technologią druku laserowego (HP LaserJet, 1984 r.) znacznemu usprawnieniu uległo tworzenie dokumentacji, ale nadal problemem pozostawało zapewnienie aktualności informacji projektowej i spójności rysunków, wykrywanie konfliktów między elementami budynku, synchronizacja zmian składowych rysunku itp. Dokonana w kolejnych latach rozbudowa środowisk programów o moduły do modelowania 3D pomogła w czytelnej komunikacji gotowego projektu inwestorowi i klientom, nie zmieniając utartych procedur. Kamieniem milowym na drodze rozwoju oprogramowania dla architektów była idea powiązania asocjacyjnego modelowania z centralną bazą danych (ArchiCAD w 1987 r., Revit w 2000 r.). Zamiast abstrakcyjnej grafiki użytkownik miał do dyspozycji tzw. inteligentne obiekty, zdolne do reprezentowania typowych elementów budynku (ściany, dach, drzwi).

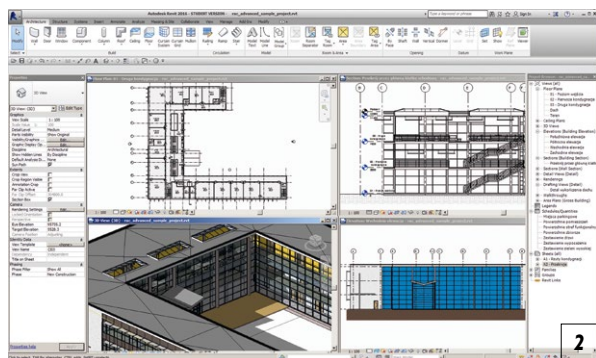
W latach 90. architekci poszukujący swobody formalnej zaanektowali aplikacje przeznaczone dla świata gier i filmu (3DS Max, Rhinoceros, Maya) oraz branży mechanicznej (np. Catia z przemysłu lotniczego), które oferowały modelowanie NURBS, narzędzia do animacji i morfinu geometrii. Narzędzia te wykorzystywane na etapie koncepcji wspomagały percepcję i procesy twórcze, a także wytwarzanie. Większość aplikacji udostępniała tekstowe edytory własnych języków skryptowych, pozwalających na rozbudowywanie ich funkcjonalności (np. Maxscript w 3DS Max; GDL w ArchiCAD, MEL w Maya). Jedną z pierwszych realizacji przy użyciu rozbudowanego środowiska 3DS Max był pawilon BMW (Bubble, 1999 r.) we Frankfurcie nad Menem, projektu B. Frankena, którego dwukrzywiznowa forma powstała w efekcie cyfrowej symulacji łączenia dwóch kropel wody w jedną, ciągłą powierzchnię. Również falująca swobodna geometria warszawskich Złotych Tarasów (Jerde Partnership, 2007 r.) wyłoniła się na

skutek iteracyjnej symulacji komputerowej, w której wirtualna tkalina była „nanoszona” na serię sferycznych deflektorów w nakładkach Simcloth i Stich programu 3DS Max.

Na początku tego stulecia twórcy programów postawili na rozbudowę funkcjonalności parametrycznej modelerów 3D. Dzięki niej użytkownik przechodzi od myślenia w kategorii obiektu do koncepcji „rodziny form” (instancje mają zarówno unikalne, jak i współdzielone cechy, a zakres możliwych do uzyskania wariacji zależy od liczby parametrów, ich roli i usytuowania w algorytmie generatywnym). Wyodrębniły się dwie grupy programów: modelowanie BIM (ang. *Building Information Modeling*) np. Digital Project, Bentley Systems, Nemetschek, Revit, przeznaczone dla branży architektoniczno-budowlanej, oraz środowisko programistyczne do budowania własnych aplikacji komputerowych, wykorzystywane zarówno przez architektów, jak i dizajnerów wzornictwa przemysłowego (Generative Components, Rhinoceros + Grasshopper). Obie grupy oferują wyrafinowane narzędzia wspomagające proces twórczy oraz decyzyjny, ale przede wszystkim w znaczący sposób wpływają na przepływ pracy w branży AEC.

Modelowanie informacji o budynku

Technologia BIM jest procesem tworzenia w cyberprzestrzeni surogatu obiektu architektonicznego w oparciu o współdzielony między zainteresowanymi stronami (branżystami) centralny model stanowiący bazę danych projektu. Idea dotyczy całego cyklu powstawania i życia budynku (od brylowego modelowania koncepcyjnego po dokumentację wykonawczą i dane do fabrykacji), realizację inwestycji (logistyka, zarządzanie), a także użytkowanie, konserwację i renowację obiektu. Budowniczości modelu są w centrum zarządzania uporządkowaną wszechstronną wiedzą, pochodzącą od branżystów, wykonawców, inżynierów budowlanych i zleceniodawcy. Multidyscyplinary przepływ pracy wymaga, by wykorzystywane technologie oprogramowania były kompatybilne. Popularna na polskim rynku platforma Revit (wchodzący w skład Autodesk Building Design Suite, 2018 r.) obejmuje narzędzia właściwe dla różnych obszarów funkcjonalnych: architektonicznego, budowlanego i konstrukcyjnego oraz projektowania MEP (ang. *Mechanical, Electrical and Plumbing*), które pomagają architektom poszukiwać optymalnych rozwiązań i opierać decyzje projektowe na racjonalnych przesłankach. Architektoniczny model budynku składa się ze „świadomych” swej funkcji komponentów przynależnych do określonych rodzin (ściany, ławy fundamentowe, okna), co determinuje ich zachowanie, np. wymiary schodów są sprzężone z wysokością kondygnacji (program dba o to, by



2. Interfejs programu Revit 2016, autor: M. Helenowska-Peschke

odpowiednie parametry: liczba stopni, ich wysokości i szerokości były zgodne z warunkami technicznymi).

Model 3D jest podstawą do automatycznego generowania planów, widoków elewacji, przekrojów, zestawień i kosztorysów. Cyfrowa organizacja wymiany danych między obszarami funkcjonalnymi projektu umożliwia wykrywanie konfliktów, analizowanie potencjalnych problemów wykonawczych i eksploatacyjnych, zanim budynek powstanie. Za pomocą bezpośrednio wbudowanych do programu bazowego modułów symulacji i analiz możliwe jest dokonanie obliczeń energetycznych, ocen sprawności termalnej, analiz zacienienia i nasłonecznienia (il. 2). Dodatkowo zgodność formatu danych z innymi produktami pakietu Building Design Suite pozwala np. na korzystanie ze Structural Analysis Professional w celu dokonania zaawansowanych analiz dużych i złożonych konstrukcji budowlanych lub InfraWorks w celu osadzenia projektu architektonicznego w realnym kontekście zbudowanym z informacji GIS (system informacji geograficznej).

Technologia parametryczna BIM przesuwa architektoniczny dyskurs ku racjonalizacji i obiektywizacji decyzji projektowych, co umożliwia tworzenie projektów spełniających wyższe wymogi jakościowe i ograniczenie błędów na etapie realizacji inwestycji.

Pierwszym spektakularnym przedsięwzięciem, które przyczyniło się do rozbudowy metodologii BIM i jej weryfikacji w praktyce, była rozpoczęta w 2005 roku budowa wysokościowca na Manhattanie (projekt Skidmore, Owings and Merrill). Obiekt stanowił duże wyzwanie technologiczne i organizacyjne, które swoje powodzenie zawdzięcza współpracy menedżerów z SOM z ekspertami AutoDesk, na bieżąco doskonalącymi funkcjonalność Revit. Wykorzystanie BIM znacznie zwiększyło efektywność oraz ekonomiczność projektowania.

BIM jest technologią współpracy, rodzi więc konieczność rozstrzygnięć natury prawnej – kwestie własności danych, praw autorskich, licencjonowania, odpowiedzialności za dokładność i koordynację danych, ponoszenie ryzyka i udział w korzyściach.

W Wielkiej Brytanii od 2016 r. centralnie zamawiane projekty sektora publicznego wymagają wdrożenia BIM na poziomie przynajmniej drugim (współpraca zespołowa w zakresie wymiany informacji pomiędzy różnymi grupami branżowymi). Oficjalny dokument CIC BIM Protocol identyfikuje modele informacji o budynku, które muszą być opracowane przez zespół projektowy, i nakłada określone obowiązki, zobowiązania i związane z nimi ograniczenia w zakresie korzystania z tych modeli. Konieczność zawarcia przejrzystego kontraktu BIM została już potwierdzona (w 2017 r. przed Technology and Construction Court trafiła pierw-

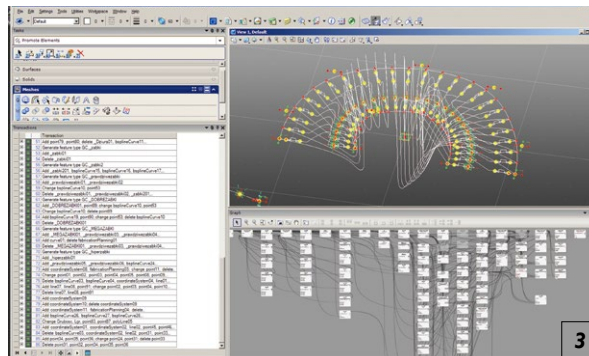
sza w historii WB sprawa między Trant Engineering Ltd. a Mott MacDonald Ltd).

Z danych raportu AutoDesku z 2015 roku „BIM – polska perspektywa” wynika, że około 25% respondentów deklaruje stosowanie metodyki BIM przy realizowanych projektach. Świadomość BIM jest wyższa wśród architektów (65,4%) niż projektantów konstrukcji i instalacji (50,3%). Obecnie te wskaźniki są zapewne wyższe, niemniej jednak według ekspertów na przeszkodzie w upowszechnieniu się metodologii BIM w Polsce stoją niskie ceny projektów przy wysokich kosztach wdrożenia (oprogramowanie, szkolenia), brak wykwalifikowanej kadry projektowej i niechęć do zmian, brak znormalizowania procesu i wspólnych standardów działania oraz niska świadomość korzyści wśród inwestorów. Metodologia BIM jest ważna dla obecnej praktyki, a także katalizuje wykorzystanie innych innowacji, takich jak poszerzona i wirtualna rzeczywistość (*Augmented Reality*, *Virtual Reality*) i drony.

Programistyczne środowiska do tworzenia narzędzi

Narzędzia BIM są ukierunkowane na logikę konstrukcyjną i w dużym stopniu narzucają użytkownikom zakodowaną cyfrowo architektoniczną semantykę. Dla architektów poszukujących efektywności i swobody formalnej rozwiązaniem jest budowa własnych cyfrowych narzędzi na poziomie języka skryptowego. Do takich zadań służy program Generative Components powstały w 2003 r., początkowo jako nakładka na MicroStation firmy Bentley. Z pozycji użytkownika istotną cechą GC jest możliwość pracy na trzech zasadniczo różnych reprezentacjach tego samego projektu: w oknie transakcji (chronologiczny zapis wszystkich wykonywanych w trakcie tworzenia projektu kroków), podglądzie geometrii 3D i na modelu schematycznym (logiczne i hierarchiczne zależności). Dodatkowo w programie dostępny jest edytor skryptu w postaci tekstowej (il. 3.). Taka funkcjonalność interfejsu ułatwia architektom i dizajnerom (amatorskim programistom) tworzenie własnego języka architektonicznego od podstawowych reguł, opartego na geometrycznych i algebraicznych abstrakcjach. Dzięki temu, że geometria jest definiowana jako wielopoziomowe hierarchiczne systemy współzależnych elementów geometrycznych (prosta, punkty) architekt może sam określić logikę i strukturę, nadać uporządkowanie, identyfikację oraz „inteligencję” komputerowo tworzonej formie. GC umożliwił rozwój nowej metodologii opartej na projektowaniu systemów parametryczno-algorytmicznych. W innowacyjnej praktyce projektowej często spotyka się integrację parametrycznego modelowania z przepływem pracy BIM.

3. Interfejs programu Generative Components v.6.
autor: M. Helenowska-Peschke



3

Strategie wykorzystania technologii komputerowych

Implementacja technologicznej obudowy procesu projektowania przekłada się w praktyce architektonicznej na dwie strategie, w zależności od charakteru zadania projektowego. Pierwsza z nich – dopracowywania projektu, odpowiada sytuacji, w której przyjęta przez zespół projektowy koncepcja geometrii (opracowana za pomocą tradycyjnych statycznych modeli cyfrowych lub fizycznych) jest wiernie odtwarzana za pomocą modelu parametryczno-algorytmicznego w celu dalszego doskonalenia i racjonalizacji oraz pozyskiwania precyzyjnych informacji geometrycznych dla potrzeb produkcyjnych i wykonawczych (zwykle w formule *file to factory*). Strategia ta zawęża znaczenie metodologii parametryczno-algorytmicznej do etapów rozstrzygania zagadnień inżynierjno-konstrukcyjno-produkcyjnych.

Drugie podejście, czyli strategia eksploracji i rozwoju projektu, charakteryzuje dążenie do wykorzystania „kreatywnej energii obliczeniowej” w celu poszukiwania innowacyjnych, efektywnych rozwiązań za pomocą programowego badania przestrzeni projektowej (algorytmów komputerowych). Tworzenie dzieła architektonicznego zaczyna się na etapie oprogramowania i narzędzi technologicznych umożliwiających przetwarzanie ogromnej ilości informacji obejmujących całą złożoność zadania projektowego i zarządzanie nimi. Istota tego podejścia polega na przełożeniu problemu projektowego na system parametryczno-algorytmiczny (program komputerowy) z ograniczoną liczbą parametrów (zmiennych decyzyjnych), które określają przestrzeń projektową mieszczącą wszystkie niezbędne rozwiązania, a następnie ich konkretyzacji z poprawnymi wartościami. Parametry mogą dotyczyć różnych aspektów: zagadnień formalnych (np. dotyczących preracjonalizacji geometrii), efektywności środowiskowej (np. zużycie energii), właściwości materiału (np. odkształcalność), wymogów produkcyjnych i logiki montażu, a nawet uwzględnić w szerokim sensie kontekst społeczny (kameralność, otwartość itp.). Generowaniu i badaniu całej klasy alternatyw towarzyszy stopniowe rozwijanie i modyfikowanie cyfrowego narzędzia pod wpływem pojawiającej się w toku projektowania nowej wiedzy, wymogów i ograniczeń projektowych. Ze względu na wymóg czytelności program ma zwykle budowę modułową i działa jako swego rodzaju interfejs dla procesu decyzyjnego, staje się środowiskiem badań umożliwiającym kontrolę i poszukiwanie lepszej, efektywniejszej alternatywy. Kryteria ewaluacji określane przez zespół projektowy zwykle dotyczą szeroko rozumianej efektywności budynku, estetyki lub innych możliwych kryteriów performatywnych,

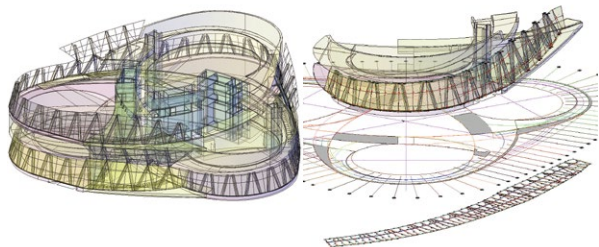
które są związane z oceną i podejmowaniem decyzji w trakcie architektonicznego procesu projektowania. Moduły mogą być odpowiedzialne za generowanie różnych reprezentacji projektu w powiązaniu z modelem bazowym (z ang. *master model*), przesyłanie danych dotyczących geometrii bezpośrednio do oprogramowania analitycznego lub arkuszy kalkulacyjnych, pozyskiwanie rysunków wykonawczych 2D, a także tworzenie tzw. G-kodu (znormalizowanego języka poleceń dla urządzeń CNC). Na przykład wskutek współpracy z zaangażowanymi w proces projektowania producentami komponentów budynku możliwe jest wbudowanie w system parametryczny wymogów konkretnej technologii produkcji. Pełen potencjał projektowania parametryczno-algorytmicznego przejawia się w możliwości cyfrowego integrowania etapów procesu od pomysłu przez opracowanie kształtu, dobór materiału, produkcję i logistykę po montaż (powstaje tzw. cyfrowy łańcuch). W konsekwencji nowego sposobu zarządzania przepływem informacji architekt powraca niejako na plac budowy i do swojej historycznej roli mistrza budowlanego mocno zaangażowanego bezpośrednio we wszystkie etapy wznoszenia obiektu.

Technologie komputerowe a kreacje architektoniczne

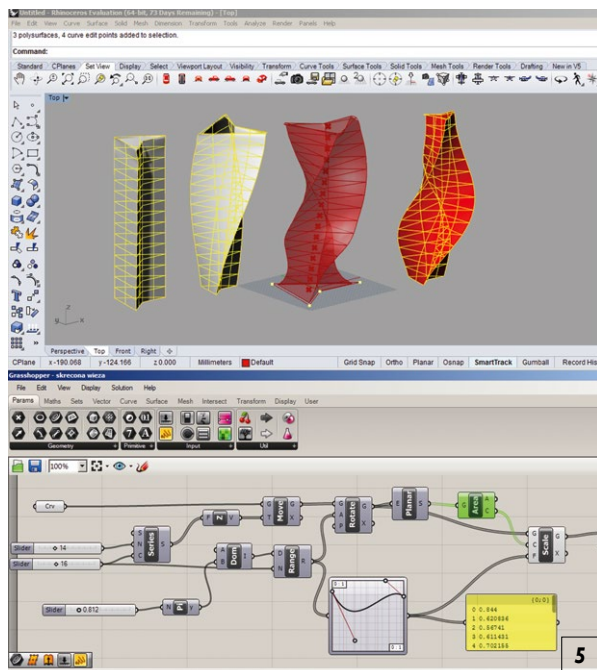
Większość uznanych innowacyjnych realizacji architektonicznych, jak i nagrodzonych prac konkursowych nie powstałaby bez znaczącego wsparcia technologiami komputerowymi. Zmiany warsztatu projektowego przejawiają się głównie w trzech obszarach:

1. Kontrola złożoności geometrycznej i funkcjonalnej.

Efektywność w zarządzaniu ogromną ilością informacji geometrycznych i niegeometrycznych powoduje, że metodologia BIM i projektowanie parametryczno-algorytmiczne pozwala architektom i projektantom sprostać ogromnej złożoności współczesnych zadań projektowych zwłaszcza wtedy, gdy stanowi zasadę organizacji i ramy współpracy specjalistów od początku procesu projektowania. Przykładem może tu być budynek Mercedes Benz Museum (MBM) w Stuttgardzie (UNStudio, 2005). Hierarchiczny parametryczny model całej geometrii (opracowany przez DesignToProduction) umożliwił powiązanie projektowania z produkcją i wykonawstwem, stanowiąc platformę współpracy dla zaangażowanych w projekt ponad dwustu czterdziestu sześciu różnych firm i biur inżynierskich. Dzięki dobremu zarządzaniu i organizacji cyfrowych ram projektu projektanci zrealizowali złożony geometrycznie i innowacyjny budynek, podnosząc koszt przedsięwzięcia zaledwie o 3% (il. 4.).



4. Model parametryczny Mercedes Benz Museum – po prawej schemat geometrii planu i rozkład paneli elewacji, autor: DesignToProduction



Modelowanie na poziomie języków skryptowych pozwala definiować i kontrolować wielopoziomowe, hierarchiczne struktury i wbudować w algorytm generatywny geometryczne lub matematyczne reguły. Uruchomienie takich, czasem dość prostych procedur skutkuje ciekawymi formami, bogatymi kompozycjami przestrzennymi, złożonymi wzorami i pozornie nierównymi strukturami. Łatwo jest wskazać przykłady wykorzystania rekurencyjnego mechanizmu „przyrostu zmiany”, który dokonuje modyfikacji geometrii za pomocą serii blisko powiązanych wartości i jest chętnie wykorzystywany do „skręcenia geometrii” budynków wysokościowych (sukcesywnie kolejne plany wyższych kondygnacji są obracane o coraz większy kąt względem pionowej osi budynku) (il. 5. i 6.).

Budowanie własnych narzędzi do generowania geometrii daje możliwość wykorzystania potencjału twórczego ukrytego w abstrakcyjnych koncepcjach, takich jak teoria chaosu deterministycznego, systemów naturalnych, emergencji, złożoności, geometrii fraktalnej itp. Przykładem wykorzystania skomplikowanej reguły algorytmicznej wywiedzionej z badań struktury piany mydlanej i komórek organicznych jest pływalnia olimpijska National Aquatics Center w Pekinie

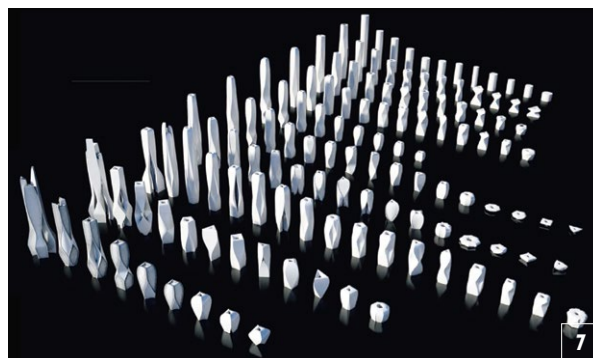
(Arup, PTW Architects, China State Construction Engineering Corp., 2008).

Wzrost popularności systemów konstrukcyjnych i elewacyjnych składających się z wysoko zindywidualizowanych komponentów wiąże się z wykorzystaniem mechanizmów adaptacji podzespołów w procesie generowania geometrii (np. gdy szpory systemów elewacji podlegają tym samym regułom geometrycznym, ale wynikowa geometria jest różna ze względu na zmianę krzywizny formy). Klasycznym przykładem asocjacyjnych ram, tworzących kontekst dla zastosowania adaptacyjnych elementów parametrycznych, stanowi elewacja Swiss Re w Londynie (Foster and Partners, 2003). Możliwość eksploracji wachlarza formalnych permutacji – otwarta dzięki algorytmicznemu definiowaniu geometrii – stała się podstawą teoretycznych poszukiwań typologii wieżowców prowadzonych przez ZHA. Rezultaty pokazano na wystawie „Parametric Tower Research” w 2012 r. w galerii AIT Architektur Salons w Kolonii (il. 7.). Parametryczne wariacje stały się dla architektów ZHA fundamentem projektów i realizacji wysokościowców w Marsylii, Mediolanie, Barcelonie, Bilbao, Bratysławie, Pekinie, Singapurze, a także warszawskiego Lilium Tower.

5. Warianty geometrii skręconej bryły wygenerowane przez skrypt w Grasshopper, autor: M. Helenowska-Peschke

6. Panorama z Evolution Tower, projektu moskiewskiej pracowni RMJM, źródło: PERI GmbH (wykonawca)

7. Wariantowe rozwiązania parametrycznego wieżowca ZHA, CBD Core Area, Pekin, źródło: Parametric Towers Research Exhibition





2. Optymalizacja formy i kosztów modyfikacji projektu.

Technologia komputerowa wspiera dążenie współczesnych architektów do uzyskania wysokiej efektywności rozwiązań w zakresie rozstrzygnięć formalnych, strukturalnych, wykorzystania materiałów, ekonomiki produkcji, komfortu użytkowania, kosztów funkcjonowania itd. Dzieje się tak dlatego, że zaprzęga moc obliczeniową do poszukiwania kompromisu pomiędzy konkurującymi performatywnymi wymogami (estetyka formy pozostaje domeną kreatywnego architekta). Dzięki wbudowaniu odpowiednich procedur wykorzystujących wyniki analiz (np. dotyczących nasłonecznienia) możliwe jest stopniowe dostrajanie, ocenianie i optymalizowanie efektywności kształtu budynku i systemów fasadowych szybciej i taniej, niż byłoby to możliwe przy użyciu tradycyjnych procedur analitycznych (niepowiązanych z algorytmem generatywnym). W obrębie metodologii parametryczno-algorytmicznej wypracowano również narzędzia do optymalizacji funkcjonalności użytkowej, np. geometrii widowni na stadionach czy rozkładu pomieszczeń. Spektakularny przykład holistycznego podejścia do poszukiwania formy i optymalizacji elewacji stanowi budynek Phare Tower (Morphosis, realizacja 2014 r.). Zarówno aerodynamiczna forma fasady budynku, jak i jego orientacja wynika z analiz ścieżki słońca i obciążenia wiatrem (il. 8.).



8

3. Masowa indywidualizacja komponentów.

Realizacja niekonwencjonalnych i skomplikowanych geometrycznie form architektonicznych wiąże się z koniecznością produkcji zindywidualizowanych elementów elewacji i struktury. Proces cyfrowego projektowania powoduje, że koszt fabrykacji produkcji seryjnej indywidualnie ukształtowanych elementów jest podobny, ponieważ informacje geometryczne mogą być płynnie przekazane w dół łańcucha produkcyjnego w celu pozyskania aktualnych rysunków wykonawczych lub G-kodów.

Przejście na masową indywidualizację elementów manifestuje się powrotem do ornamentu i dekoracyjności, która wychodzi poza powierzchowne zniekształcanie formy ku integralności kompozycyjnej, strukturalnej i funkcjonalnej całości oraz elementu. Przykładem takiego efektu jest baldachim z drewnianych dźwigarów w budynku Haesley Nine Bridges Golf Resort w Południowej Korei (Shigeru Ban Architects i KACI International, 2010, il. 9.).

Wyzwania i bariery stojące przed polskimi architektami

Warunkiem korzystania przez architektów z technologii komputerowej są kompetencje związane z działaniem zaawansowanych narzędzi CAD, BIM i inżynierią programowania. Umiejętności te nie wchodzą w skład tradycyjnego warsztatu projektowego, co stawia wielkie wyzwanie przed kształceniem architektonicznym. Konieczne jest, by w Polsce studenci wszystkich wydziałów architektury mieli możliwość poznania zaawansowanych technik projektowania cyfrowego, konstruowania, prototypowania i produkowania w tzw. *one-stop shop*. Technologie przyszłości są ukierunkowane na integrację i współpracę w akcie tworzenia architektury, co również powinno być przedmiotem nauczanych umiejętności. Obecnie obok niedostatku specjalistów barierą stanowi również historycznie uwarunkowany model sektora architektoniczno-budowlanego w Polsce (rozproszenie spółek), brak standardów współpracy na bazie BIM i koszt hardware'u oraz software'u.

Udostępnienie przez przodujące firmy informatyczne (Azure Microsoft Cloud Platform, Amazon Elastic Compute Cloud, Autodesk 360 Cloud Platform) możliwości korzystania z obliczeń w chmurze przynosi demokratyzację wysokowydajnych maszyn. Zapewne kolejnym kamieniem milowym w rozwoju technologii komputerowej będzie stworzenie myślącej maszyny, która przewyższy ludzką inteligencję. Architekci staną wówczas wobec konieczności obrony swojego etosu kreatywnego artysty, wyłącznego pomysłodawcy architektonicznej idei. Komputery jako pełnoprawni współprojektanci całkowicie przeobrażą proces tworzenia architektury, ale na to przyjdzie nam jeszcze poczekać.

8. Phare Tower. Wykorzystanie analiz ścieżki słońca do kształtowania bryły oraz etapy ewolucji siatki – rozkład paneli na powierzchni, źródło: Morphosis

9. Baldachim z kunsztownie splecionych drewnianych dźwigarów w budynku Haesley Nine Bridges Golf Club House, projekt: KACI International, 2010, źródło: Shigeru BanArchitects