

Automatyzacja w projektowaniu architektonicznym



Krystian Kwieciński, krystiankwiecinski.com
Agata Pasternak, agata.pasternak.me
 Politechnika Warszawska, Wydział Architektury

Architekci w swojej praktyce zawodowej tworzą i wykorzystują zasady projektowe, które niejednokrotnie są stosowane nieświadomie i czasami nie zostają spisane. Zasady te wynikają z wiedzy i zdobytego doświadczenia. Jeśli nie zostaną zapisane i przekazane kolejnym pokoleniom, to niejednokrotnie odchodzą wraz z twórcą. Sposobem cyfrowego zapisania zasad projektowych są algorytmiczne metody projektowe.

Algorytm, jako ciąg jasno zdefiniowanych czynności koniecznych do wykonania zadania, pozwala sformalizować etapy projektowe, w efekcie wykonania których możliwe jest osiągnięcie zamierzonego efektu. Hersey [2] zauważył, że tego typu podejście, w którym algorytm może generować plany, elewacje i projekty całych budynków, jest zauważalne w pracach Witruwiusza. Według Słyka [3] metodologia algorytmiczna od zawsze istniała w sferze intelektualnej, czekając, aż zostanie zastosowana z użyciem komputerów. Przetworzenie metodologii algorytmicznej w projektowaniu na zapis komputerowy zaowocowało zautomatyzowaniem procesu powstawania rozwiązań projektowych.

W projektowaniu architektonicznym elementy automatyzacji mogą być wykorzystywane na różne sposoby i w różnym zakresie kontrolować projektowany obiekt. W zależności od zakresu automatyzacji, etapu projektu, na jakim jest wykorzystywana, czy sposobu podejmowania decyzji projektowej w tym procesie mogą być wykorzystywane różne narzędzia i procedury automatyzacyjne. Wówczas mówimy o projektowaniu wspomaganym komputerowo, projektowaniu parametrycznym czy generatywnym.

Techniki projektowania wspomaganego komputerowo, czyli techniki CAD, są obecnie powszechnie używane przez architektów. Obejmują one różne sposoby wykorzystania sprzętu i oprogramowania komputerowego przy projektowaniu. Należą do nich narzędzia do modelowania trójwymiarowego, sporządzania dokumentacji budowlanej z modeli przestrzennych lub kreślonych w przestrzeni dwuwymiarowej, narzędzia do analiz czynników zewnętrznych i ich symulacji oraz narzędzia do sporządzania wizualizacji i animacji projektu. Projektowanie wspomaganie komputerowo w swoich założeniach różni się od tradycyjnego projektowania głównie metodami zapisu i prezentacji projektu, ale nie wymaga zmiany sposobu myślenia czy innego sposobu podejmowania decyzji projektowych.

W projektowaniu parametrycznym sposób tworzenia formy zaczyna odbiegać od tradycyjnego procesu projektowania. Bazuje on na

myśleniu algorytmicznym i wymaga zdefiniowania kształtu, proporcji i zależności pomiędzy elementami obiektu oraz zdefiniowania parametrów sterujących, z określeniem ich typów i zakresów przyjmowanych wartości. Poprzez zakodowanie wzajemnych relacji pomiędzy pojedynczymi elementami w modelu przestrzennym możliwe jest stworzenie skomplikowanych, różnorodnych rozwiązań projektowych poprzez manipulowanie wartościami pojedynczych parametrów definiujących te relacje. Jeśli projektowany obiekt jest niewielki w skali lub nieskomplikowany funkcjonalnie, wówczas czysta eksploracja formy przy użyciu narzędzi komputerowych jest możliwa i bardzo pomocna na wczesnym etapie koncepcyjnym. Daje ona możliwość eksperymentowania z różnymi kombinacjami wartości parametrów definiujących bryłę i natychmiastową wizualną ewaluację efektu.

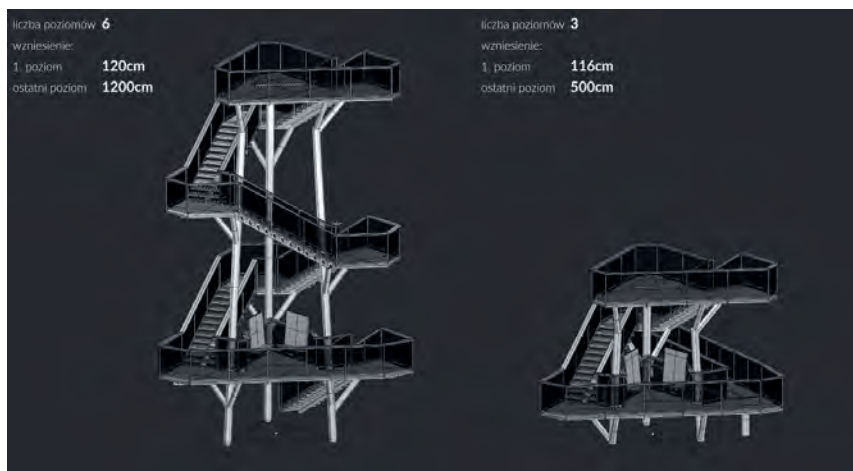
Opracowanie procedury generatywnej wymaga od architekta – poza umiejętnościami określenia, jakie reguły architektoniczne i w jaki sposób mają być stosowane w celu spełnienia założeń projektowych i uzyskania pożądanej odpowiedzi projektowej – również umiejętności przełożenia tych zasad na relacje logiczno-geometryczno-matematyczne możliwe do zapisania w postaci cyfrowej i przetworzenia ich przez systemy informatyczne. Brak umiejętności formalizowania przez architektów zasad projektowych, jakimi się posługują, lub też brak możliwości ich cyfrowej reprezentacji uniemożliwiają stworzenie kompleksowego systemu generującego rozwiązania projektowe. Możliwe jest jednak stosowanie generatywnych metod projektowania w połączeniu z metodami bardziej tradycyjnymi, które współgrają z elementami wygenerowanymi przy pomocy narzędzi cyfrowych. Do narzędzi generatywnych można zaliczyć automaty komórkowe, L-systemy, fraktale, gramatyki kształtu czy algorytmy ewolucyjne.

Wyżej wymienione typy projektowania architektonicznego wykorzystujące metody automatyzacji zależą od zastosowanych narzędzi i sposobu ich wykorzystania do generowania formy. Natomiast w zależności od tego, jaki jest sposób podejmowania decyzji w procesie

projektowania opartym o narzędzia cyfrowe, można wymienić trzy główne typy. Pierwszym z nich jest tworzenie własnych procedur projektowych do wizualnej oceny różnych wariantów formy i eksploatacji możliwości konfiguracji zaprojektowanego systemu. Innym kryterium podejmowania decyzji projektowych mogą być obiektywne czynniki wynikające z przeprowadzonych analiz środowiskowych, wytycznych inwestora, ograniczeń budżetu, które można skwantyfikować i wykorzystać w procedurze optymalizacyjnej jako funkcję celu, która przez projektowany obiekt musi być spełniona. Automatyzacja pozwala również włączyć w proces projektowy innych uczestników tego procesu, umożliwiając im modyfikowanie uzyskiwanych rozwiązań projektowych. Decyzja dotycząca ostatecznego wyboru rozwiązania projektowego pozostawiona jest użytkownikowi, natomiast zbiór możliwych rozwiązań projektowych musi być zdefiniowany przez projektanta.

Zarządzanie formą

Zarówno projektowanie parametryczne, jak i generatywne dają projektantom możliwość kontrolowania procesu tworzenia rozwiązań projektowych. Przykładem wykorzystania takiego potencjału narzędzi parametrycznych w projektowaniu architektonicznym jest projekt wież obserwacyjnych w Słowińskim Parku Narodowym (rys. 1). Na potrzeby projektu została stworzona parametryczna procedura automatyzująca proces przestrzennego modelowania projektu wieży. Umożliwiła ona interaktywne poszukiwanie pożądanego rozwiązania projektowego, minimalizując nakłady czasu potrzebne na każdorazowe wizualizowanie modyfikacji wprowadzanych w projekcie. Parametryczny zapis projektu pozwolił również na precyzyjne kontrolowanie parametrów technicznych określonych przez inwestora. Dodatkowo zadanie projektowe przewidywało opracowanie dwóch wież o różnych wielkościach. Zróżnicowanie wysokości wież wynikało z lokalizacji, w której były one planowane. Jedna z nich miała stać w obszarze gęsto zalesionym wysokimi drzewami, druga natomiast – na terenie otwartym. Opracowanie projektu z użyciem projektowania parametrycznego pozwoliło stworzyć dwa różne obiekty architektoniczne, dopasowane do odmiennych uwarunkowań lokalizacyjnych, będące jednak w tym samym języku architektonicznym. Projektowanie parametryczne nie tylko zostało wykorzystane do przyspieszenia procesu poszukiwania rozwiązania projektowego, lecz także umożliwiło jednocześnie stworzenie rodziny rozwiązań projektowych dopasowanych do różnorodnych lokalizacji.



Rys. 1. Wieże widokowe w Słowińskim Parku Krajobrazowym, Gardno / Kluki. W lewym górnym rogu podane są główne parametry kontrolujące projekty wież. Autor: Pracownia Projektowa (fot. arch. VGR Violetta Kwiecińska, Krystian Kwieciński, 2014)

Automatycznie generowane rozwiązania projektowe było w tym przypadku indywidualnie weryfikowane i poddawane ocenie przez projektantów, natomiast parametryczna procedura pozwoliła przyspieszyć proces weryfikacji wprowadzanych do projektu zmian. Proces poszukiwania rozwiązań projektowych odpowiadających na obiektywnie zdefiniowane czynniki może również zostać zautomatyzowany. W tym celu w projektowaniu stosuje się optymalizację.

Poszukiwanie rozwiązań optymalnych

W każdym zadaniu projektowym istnieje wiele czynników, które mają wpływ na projektowany obiekt i muszą być wzięte pod uwagę przez projektanta. W przypadku projektowania architektonicznego wśród czynników wpływających na budynek należy wymienić uwarunkowania wynikające z kontekstu, przepisy prawa budowlanego, wytyczne funkcjonalne

czy założenia estetyczne. Czynniki te obejmują wiele szczegółowych zagadnień, które definiują wytyczne do projektu. Uwzględnienie wszystkich z nich jednocześnie wymaga od projektanta dużej intuicji i doświadczenia, przeprowadzania wielokrotnych iteracji projektu lub zastosowania różnych narzędzi komputerowych wspomagających podejmowanie decyzji. W przypadku wieloaspektowych problemów projektowych, takich jak na przykład projektowanie budynków wysokich czy skomplikowanych układów konstrukcyjnych, często konieczne staje się zastosowanie algorytmów umożliwiających optymalizację całości lub wybranych elementów tych obiektów.

Optymalizacja jest to metoda poszukiwania najlepszego rozwiązania w kontekście zadanego kryterium jakości. To kryterium może być odzwierciedleniem pewnych wytycznych projektowych w postaci relacji matematycznych odnoszących się do projektowanego obiektu. W praktyce proces optymalizacji polega na wyznaczeniu maksimum lub minimum funkcji celu, która definiuje ową jakość. Jeśli kryteriów jakości jest więcej niż jedno i chociaż część z nich jest względem siebie przeciwstawna, wówczas optymalizacja polega na wyznaczeniu najlepszego rozwiązania, będącego kompromisem pomiędzy wszystkimi cechami. Optymalizacja może być traktowana jako narzędzie wspierające proces podejmowania decyzji w projektowaniu lub jako narzędzie służące do uzyskania najbardziej efektywnych konfiguracji w zaprojektowanym ustroju.

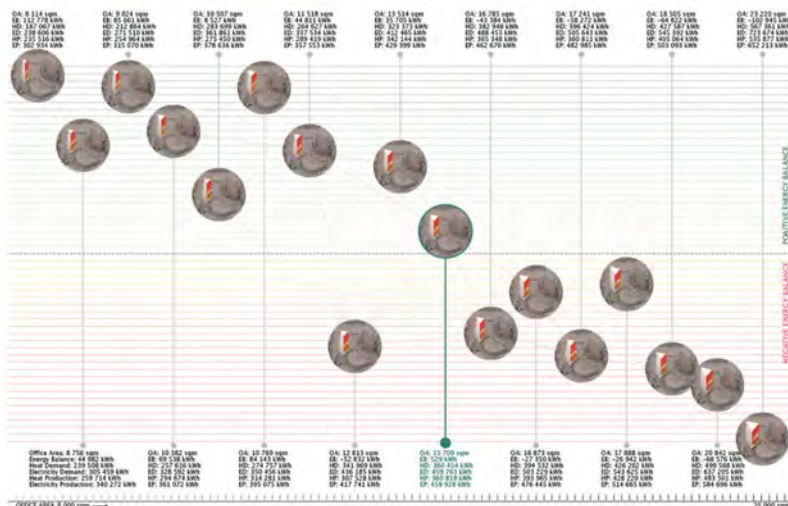
W zastosowaniach architektonicznych do przeprowadzenia procesu optymalizacji najczęściej używane są algorytmy genetyczne. Należą one do grupy algorytmów ewolucyjnych inspirowanych przez procesy zachodzące w naturze. Imitują one proces ewolucji przez zastosowanie rekombinacji i mutacji genów, czyli parametrów definiujących obiekt do tworzenia populacji osobników, które są udoskonalane z pokolenia na pokolenie [4]. Tylko najlepiej dopasowane jednostki są wykorzystywane do tworzenia nowych obiektów w kolejnych pokoleniach. Osobniki słabsze są usuwane. Dzięki temu rozwiązania pozostające w populacji z pokolenia na pokolenie stają się coraz lepiej dopasowane, czyli bliższe rozwiązaniu optymalnemu.

Algorytmy genetyczne umożliwiają analizowanie wielu kryteriów optymalizacyjnych jednocześnie i znajdowanie rozwiązania kompromisowego pomiędzy wszystkimi czynnikami [5]. Jako metoda uniwersalna dobrze sprawdzają się one przy optymalizacji układów skomplikowanych, gdzie różnego typu dane są badane jednocześnie, a optymalizowana funkcja posiada wiele lokalnych ekstremów lub jest zmienna w czasie. Metoda ta jest relatywnie szybka i umożli-



liwia znalezienie rozwiązania bliskiego optimum po przeanalizowaniu stosunkowo niewielkiej liczby osobników.

Metoda optymalizacji z zastosowaniem algorytmów genetycznych została wykorzystana w projekcie Synergy³, przygotowanym na konkurs URBAN+, którego celem było zaprojektowanie budynku biurowego w Oslo posiadającego dodatni bilans energetyczny. Założeniem projektu było znalezienie takiej formy budynku, aby możliwe zyski energetyczne wynikające z zastosowanych rozwiązań pokryły zapotrzebowanie energetyczne całego budynku (rys. 2).



Rys. 2. Optymalizacja formy budynku: algorytm genetyczny umożliwia modyfikację formy budynku, aby maksymalizowana była jego powierzchnia użytkowa przy jednoczesnym spełnieniu warunku dodatniego bilansu energetycznego. Oś X – powierzchnia użytkowa budynku, oś Y – bilans energetyczny.

Synergy³ – praca konkursowa. Zespół projektowy: Krystian Kwieciński, Jacek Markusiewicz, Agata Pasternak, we współpracy z Karolem Terlikowskim oraz specjalistami z BuroHappold: Manuel Delgado, Ander Gortazar Balerdi, Julia Kamińska, Konrad Leski, Paweł Młynarczyk

Bryła budynku ma formę ściętego ostrosłupa o podstawie trójkąta. Algorytm umożliwia modyfikację wielkości podstawy, lokalizacji wierzchołka i położenia płaszczyzny tnącej, dzięki czemu zmienia się kubatura i powierzchnia użytkowa budynku. Forma i wielkość budynku wpływają na przewidywane zapotrzebowanie na energię i potencjalną liczbę użytkowników. Zyski energii zależne są natomiast od powierzchni i kąta nachylenia południowo-zachodniej elewacji budynku i dachu, na których przewidziane zostały panele słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne, oraz pośrednio również od wielkości obiektu i liczby użytkowników. W bilansie uwzględnione są również zyski energetyczne z innych źródeł, takich jak energia wiatru czy biomasy. Założeniem procedury optymalizacyjnej było znalezienie takiej formy budynku, aby przy maksymalizacji jego powierzchni użytkowej zapewnić dodatni bilans energetyczny. Procesowi optymalizacji został poddany również kształt dachu oraz przeanalizowana została forma poziomego rozcięcia budynku, tak aby umożliwić jak największe zyski energetyczne (rys. 3).



Rys. 3. Optymalizacja formy budynku; analiza aerodynamiczna budynku oraz optymalizacja formy dachu w celu zmaksymalizowania zysków energetycznych.

Synergy³ – praca konkursowa. Zespół projektowy: Krystian Kwieciński, Jacek Markusiewicz, Agata Pasternak, we współpracy z Karolem Terlikowskim oraz specjalistami z BuroHappold: Manuel Delgado, Ander Gortazar Balerdi, Julia Kamińska, Konrad Leski, Paweł Młynarczyk

Współprojektowanie kontrolowane

Rozwój generatywnych metod projektowych pozwolił architektom odłożyć decyzję dotyczącą ostatecznego wyglądu projektowanego obiektu na dalszy etap prac projektowych, umożliwiając testowanie różnorodnych rozwiązań w celu znalezienia tego najbardziej pożądanego. Taka zmiana w podejściu projektowym pozwala jednocześnie na otwarcie procesu projektowego na innych jego uczestników, umożliwiając im, w zakresie wyznaczonym przez projektanta, interaktywne modyfikowanie projektu. Projektowanie algorytmiczne pozwala na opracowanie procedury generatywnej umożliwiającej wprowadzanie zmian w projekcie w sposób przewidziany przez projektanta, umożliwiając użytkownikowi dopasowanie projektu do własnych potrzeb. Tego typu podejście pozwala na włączenie innych uczestników w proces projektowy, oferując projektantom możliwość kontroli dopuszczalnych rozwiązań. Współprojektowanie kontrolowane dopuszcza modyfikacje projektu w zakresie przewidzianym przez projektanta i może być wykorzystane we współpracy z klientami bądź przyszłymi użytkownikami projektowanych obiektów.

Badania nad przemysłowo indywidualizowanymi (ang. mass-customization) projektami prowadzi między innymi Jose Duarte [6], który opracował system pozwalający generować domy w stylu Alvaro Siza. Duarte szczegółowo przeanalizował osiedle Malagueira (fot. 1) zaprojektowane przez Alvaro Siza na obrzeżach miasta Evora w Portugalii. Zostało ono zaprojektowane w latach siedemdziesiątych XX wieku w formule partycypacyjnej wspólnie z mieszkańcami. Projekt przewidywał utworzenie 1200 domów szeregowych, z których każdy mógł być dopasowany do indywidualnych potrzeb przyszłych lokatorów. W celu sprostania temu wyzwaniu Siza stworzył schemat projektu domu, który mógł być łatwo adaptowany do różnych oczekiwań nabywców. Ponieważ zasady rządzące tym schematem nie zostały jednak przez projektanta spisane, Duarte podjął się ich formalizacji. W efekcie zidentyfikował 35 różnych typów domów, które posłużyły do opracowania gramatyki kształtu formalizującej zasady projektowe pozwalające je generować.

Opracowana gramatyka kształtu została podzielona na 3 sekwencje następujących po sobie procesów generatywnych wykorzystujących opracowane zasady projektowe. W efekcie przeprowadzenia wszystkich procesów generowany jest dom w stylu domów z osiedla Mala-

gueira. Opracowane 164 reguły pozwalają, według Duarte'go, na wytworzenie ok. 360 tys. różnorodnych układów domów. W celu zweryfikowania poprawności opracowanego systemu projektowego wygenerowane budynki zostały przedstawione architektowi. Siza podczas tego eksperymentu nie rozpoznał, który budynek nie był przez niego zaprojektowany, co potwierdziło poprawność pracy badawczej. Opracowany system generatywny został wykorzystany przez Duarte'go do stworzenia oprogramowania komputerowego pozwalającego użytkownikom na automatyczne uzyskanie projektu domu możliwie najlepiej spełniającego ich oczekiwania.

Celem opracowania takiego oprogramowania było wsparcie architekta w pracy z klientami. Badania te nakreślają również wizję ewolucji roli architekta. Architekci wykorzystujący procesy generatywne w projektowaniu partycypacyjnym przestają być projektantami pojedynczych rozwiązań projektowych, stając się projektantami systemów generujących różnorodne rozwiązania architektoniczne. Jak zauważa Niemeijer [7], nowa rola wymusza przejście przez architekta odpowiedzialności nie tylko – jak w przypadku tradycyjnego procesu projektowego – za pojedyncze rozwiązanie architektoniczne, lecz także za wszystkie dopuszczalne rozwiązania architektoniczne wygenerowane przez opracowany system.

Fot. Krystian Kwieciński



Fot. 1. Osiedle Malagueira w Evora zaprojektowane przez Alvaro Siza w formule współprojektowania z mieszkańcami.

Rola automatyzacji

Zastosowanie narzędzi parametrycznych i generatywnych w projektowaniu architektonicznym daje możliwość odkrywania nowych, niedostępnych przy użyciu tradycyjnych technik projektowych rozwiązań architektonicznych. Stosowanie tego typu procedur do projektowania wymaga dokładnej weryfikacji zarówno ich założeń, jak i efektów. Brak tej weryfikacji może prowadzić do wybierania nieadekwatnych rozwiązań projektowych, jak również pominięcia wielu istotnych aspektów projektowania architektonicznego uwzględnianych w tradycyjnym procesie projektowania, które nie są możliwe do zapisania w postaci relacji matematyczno-geometrycznych.

Jak zauważa Michael Meredith [8], w architekturze „nie wszystko jest wymierne, nie wszystkie relacje są geometryczne i nie wszystko da się powiązać w system zależności”.

Uwaga ta jest istotnym ostrzeżeniem, że stosowanie wyłącznie procedur generatywnych w projektowaniu architektonicznym może skutkować uproszczeniem i pominięciem części zasad i zależności występujących w tradycyjnym projektowaniu architektonicznym.

Wręcz ze wzrostem popularności cyfrowych narzędzi projektowych kształtowane jest nowe pokolenie architektów, którzy z dużą łatwością się nimi posługują. Współcześnie projektujący architekci używający w swojej praktyce narzędzi parametrycznych nie muszą konwertować swoich idei projektowych na ich matematyczno-geometryczne odpowiedniki, ponieważ ich proces tworzenia formy jest od początku algorytmiczny i bezpośrednio powstaje w środowisku parametrycznym. Umożliwia to dużą oszczędność czasu podczas każdorazowej modyfikacji formy na późniejszych etapach procesu projektowego. Automatyzacja pozwala również

na wykorzystanie opracowanej procedury do stworzenia serii obiektów posiadających wspólne cechy lub będących innymi instancjami tego samego modelu parametrycznego.

Wykorzystanie modeli parametrycznych w projektowaniu architektonicznym posiada bardzo dużą wartość ze względu na możliwość komputerowej ewaluacji przyjmowanych rozwiązań. Wprowadzanie do procesu projektowego elementów obiektywnej ewaluacji w postaci kryteriów optymalizacyjnych czy weryfikacji formalnej umożliwia tworzenie obiektów odpowiadających na założenia projektowe w sposób wymierny.

Bibliografia

1. Gasparski, W. (1978). Projektowanie koncepcyjne przygotowanie działka. Państwowe wyd. naukowe
2. Hersey, G. L., & Freedman, R. (1992). Possible Palladian villas: (plus a few instructively impossible ones). The MIT Press.
3. Słyk, J. (2012). Źródła Architektury Informacyjnej. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Architektura (Vol. 7). Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
4. Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. U Michigan Press.
5. Goldberg, D. (1989). Genetic algorithms in optimization, search and machine learning. Addison Wesley.
6. Duarte, J. P. (2001). Customizing mass housing: a discursive grammar for Siza's Malagueira houses. Massachusetts Institute of Technology.
7. Niemeijer, R. a., de Vries, B., & Beetz, J. (2010). Designing with constraints: Towards mass customization in the housing industry. 10th International Conference on Design & Decision Support Systems. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Department of Architecture, Building, and Planning.
8. Meredith, M. (2008). From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture. Actar-D.

Abstract: Architects in their practice tend to formulate design rules which guide their designs. New design tools allow to formalize designers' rules and automate design process. This article presents differences between computer aided design, parametric design and generative design. Moreover the article explores motivation for employing such design techniques in an architectural design process and presents possibilities which they offer in everyday practice. Examples ranging from form-finding, through objective optimization up till participatory design are being presented. Beyond the standard tools that the architects use, these tools are automating design process allowing not only to optimize the workflow but primarily to extend the design possibilities.

Keywords: design automation, parametric design, generative design, optimization, participatory design