

Algorytmiczne poszukiwanie formy i rozwiązań w budynkach wysokich

BUILDER
FOR THE
YOUNG
ARCHITECTS



mgr inż. arch. Agata Pasternak
mgr inż. arch. Krystian Kwieciński
Politechnika Warszawska, Wydział Architektury

W procesie projektowania budynków wysokich w zabudowie śródmiejskiej bardzo ważnym etapem jest analiza najbliższego otoczenia działki. Należy wziąć pod uwagę m.in. czynniki wynikające z przepisów budowlanych oraz zapisów planów miejscowych, a także czynniki funkcjonalne.

Dokładne przeanalizowanie wszystkich aspektów kontekstu, mających wpływ na projektowany obiekt, powoduje konieczność przeprowadzenia analiz przedprojektowych, z których część może wymagać zastosowania różnych specjalnych narzędzi symulacyjnych. Do takich narzędzi należą m.in. programy umożliwiające symulację zacienienia czy ruchu wiatru w otoczeniu projektowanego budynku. Zastosowanie tych narzędzi w połączeniu z parametrycznym środowiskiem projektowania architektonicznego umożliwia bezpośrednie wykorzystanie wniosków wynikających z przeprowadzonych analiz w procesie tworzenia formy. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne spełnienie przepisów, wytycznych wynikających z kontekstu i wymagań inwestora przy zachowaniu możliwie jak największej kontroli nad projektowanym obiektem.

Uwarunkowania lokalizacyjne i prawne

Poszukiwanie formy, orientacji i lokalizacji budynku na działce wymaga przeprowadzenia serii analiz czynników zewnętrznych. Badania te mogą być usprawnione przez zastosowanie procedur parametrycznych i procesów optymalizacji. Do oceny poszczególnych czynników mających wpływ na bryłę budynku można wykorzystać różne programy komputerowe lub plug-iny umożliwiające symulację ich wpływu na projektowany budynek.

Wśród analiz uwarunkowań wstępnych, jakim podlega projektowanie budynków w zabudowie śródmiejskiej, można wyróżnić m.in. następujące grupy czynników: analizy prawne, urbanistyczne, funkcjonalne, estetyczne, ekonomiczne czy środowiskowe.

Analiza uwarunkowań prawnych powinna uwzględniać regulacje dotyczące projektowania budynków zawarte w ustawie Prawo budowlane oraz innych ustawach i rozporządzeniach, między innymi w rozporządzeniu ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, oraz

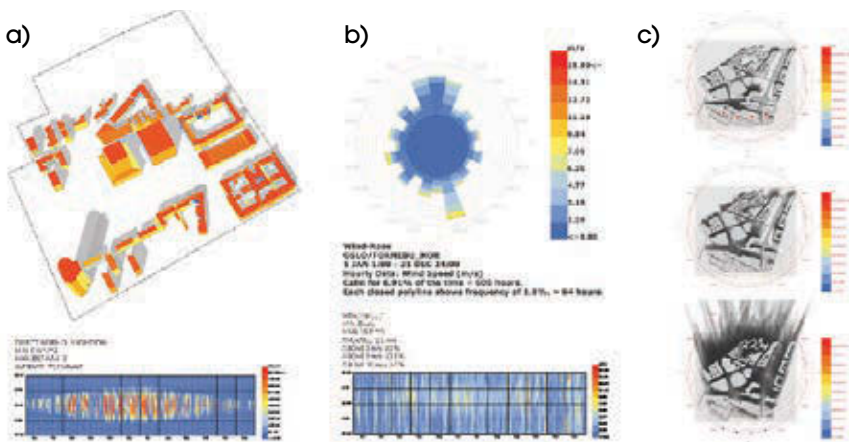
polskich normach. Należy również uwzględnić zapisy zawarte w planach miejscowych czy wynikające z uzyskanych warunków zabudowy przy braku obowiązującego planu miejscowego dla danej działki. Wyniki analiz regulacji prawnych, jakim podlega dana działka, można skwantyfikować w postaci wytycznych geometryczno-przestrzennych i zapisać je w modelu parametrycznym.

Komputerowe analizy środowiskowe dają możliwość szybkiej i precyzyjnej weryfikacji warunków zacienienia, przesłaniania i nasłonecznienia okien oraz ocenę ruchu wiatru (rys. 1). Umożliwia to kontrolę wpływu budynku na otoczenie i zapobieganie negatywnemu oddziaływaniu projektowanej kubatury na najbliższe sąsiedztwo.

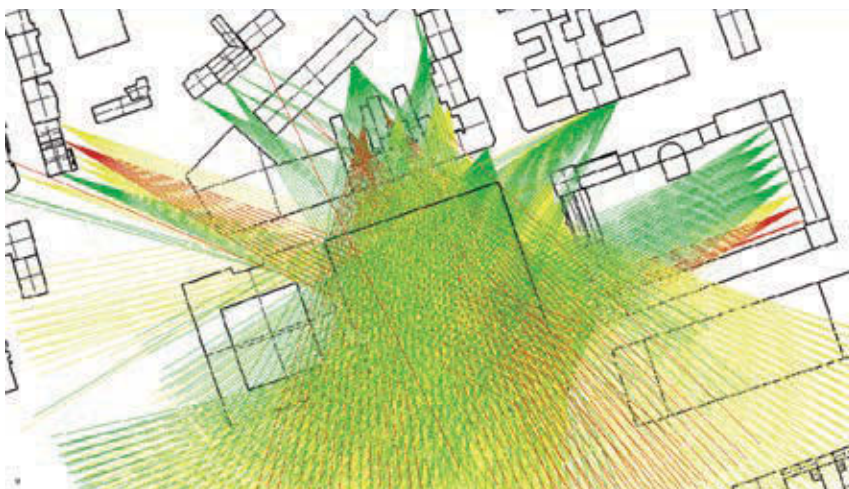
Usytuowanie budynku a nasłonecznienie

Nowe inwestycje, a szczególnie budynki wysokie zlokalizowane w zabudowie śródmiejskiej wpływają na zmianę warunków nasłonecznienia mieszkań w istniejącej tkance miejskiej. Ograniczenie dostępu pomieszczeń mieszkalnych do światła dziennego wpływa na obniżenie jakości życia w tych wnętrzach oraz zmniejszenie wartości nieruchomości. Warunki minimalnego nasłonecznienia mieszkań zawarte w polskich przepisach wpływają na możliwości inwestycyjne na działkach zlokalizowanych w zabudowie śródmiejskiej. Dzięki możliwościom precyzyjnej symulacji nasłonecznienia mieszkań możliwe jest wyznaczenie możliwości zabudowy danej działki.

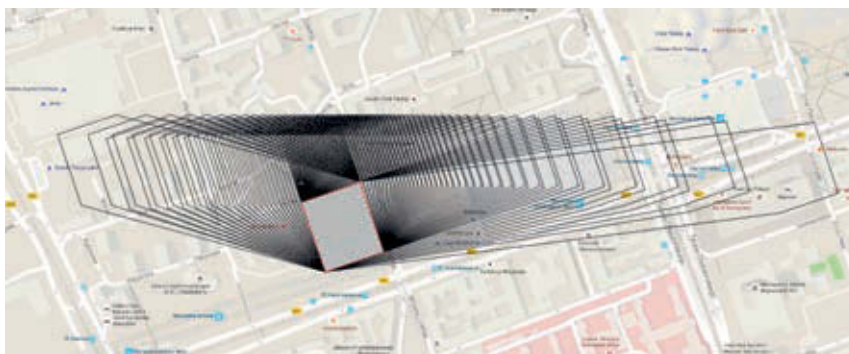
Zgodnie z rozporządzeniem ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, przepisy dotyczące nasłonecznienia pomieszczeń precyzują liczbę godzin, w których każde okno powinno być doświetlone. Przepisy te dotyczą wyłącznie budynków mieszkalnych, szkół, przedszkoli i żłobków. Czas nasłonecznienia takich okien powinien wynosić co najmniej trzy godziny – mierzony w dniu równonocy wiosennej



Rys. 1. Analizy pogodowe: analiza całkowitego promieniowania słonecznego na płaszczyznach ścian i dachów budynków oraz wykresy rocznego promieniowania słonecznego (a); analiza kierunków i siły wiatru oraz wykres rocznych prędkości wiatru (b); analiza zacienienia w różnych porach roku (c)



Rys. 2. Analiza nasłonecznienia – wektory promieni słonecznych blokowanych przez bryłę wyjściową padających na okna należące do kategorii: A – kolor zielony, B – kolor czerwony, C – kolor żółty



Rys. 3. Wyznaczenie obszaru oddziaływania budynku na otoczenie przez wykreślenie cienia rzuconego przez bryłę wyjściową w dniach równonocy wiosennej i jesiennej

i jesiennej, między godzinami 8.00 a 16.00 dla budynków o funkcji edukacyjnej oraz między 7.00 a 17.00 dla budynków mieszkalnych.

W mieszkaniach wielopokojowych wymagania można ograniczyć do co najmniej jednego pomieszczenia. W zabudowie uzupełniającej na obszarach śródmiejskich dopuszcza się ograniczenie czasu potrzebnego nasłonecznienia do półtorej godziny, a w odniesieniu do mieszkań jednopokojowych w takiej lokalizacji wymagany czas nasłonecznienia nie jest określony.

W zależności od skali planowanej inwestycji i jej lokalizacji zakres analiz nasłonecznienia, które trzeba przeprowadzić, może być bardzo różny. Opisane powyżej przepisy muszą być spełnione dla wszystkich mieszkań, których warunki oświetleniowe mogą ulec zmianie, dlatego też liczba okien wymagających weryfikacji w przypadku budynków wysokich w zabudowie śródmiejskiej może się okazać bardzo duża.

Analiza nasłonecznienia

W ramach opracowanej autorskiej metody komputerowej analizy nasłonecznienia okien należących do mieszkań i instytucji edukacyjnych w otoczeniu projektowanego budynku wyróżnić można trzy etapy. Najpierw następuje wstępna analiza nasłonecznienia okien w stanie istniejącym, bez uwzględniania projektowanego obiektu (rys. 2). Następnie analizowany jest wpływ nowego budynku na stan nasłonecznienia przedmiotowych okien. W wyniku przeprowadzonych analiz może zostać wyznaczona maksymalna bryła budynku lub zostać przeprowadzona procedura optymalizacyjna w celu ustalenia najkorzystniejszej lokalizacji i formy budynku na działce.

Po przeprowadzeniu analizy nasłonecznienia okna dzielone są na trzy kategorie:

- kategoria A: okna prawidłowo nasłonecznione, których warunki nasłonecznienia nie są pogorszone przez projektowany budynek;
- kategoria B: okna, które są nieprawidłowo nasłonecznione w stanie istniejącym, które w żadnym stopniu nie mogą być zastąpione przez projektowany budynek;
- kategoria C: okna prawidłowo doświetlone w stanie istniejącym, których warunki nasłonecznienia mogą zostać pogorszone przez projektowany obiekt; sytuacja ta może być modyfikowana przez projektanta przez zmianę formy lub lokalizacji budynku.

Wyznaczenie maksymalnej bryły budynku

W ramach studia projektowego DS3 w roku akademickim 2015/2016 studenci mieli za zadanie zaprojektować budynek wysoki o funkcji biurowej w śródmieściu Warszawy. Wybrana działka przy ulicy Chmielnej stwarza doskonałe warunki do weryfikacji wpływu regulacji nasłonecznienia na proces wyznaczenia maksymalnej bryły budynku. Analizę przeprowadzono na podstawie wspólnego, przygotowanego przez studentów trójwymiarowego modelu otoczenia. Obejmował on istniejące budynki znajdujące się w obrębie obszaru oddziaływania projektowanego budynku (rys. 3), który wyznaczony został na podstawie zakresu cienia rzuconego przez bryłę wyjściową w dniach równonocy wiosennej i jesiennej. Po wyznaczeniu obszaru oddziaływania budynku konieczne jest określenie budynków, w których znajdują się pomieszczenia mieszkalne i należące do placówek edukacyjnych, ponieważ to ich warunki nasłonecznienia są przedmiotem analizy.

Aby wyznaczyć maksymalną bryłę budynku, bryła wyjściowa jest przycinana w taki sposób, aby okna, na których warunki nasłonecznienia ma wpływ projektowany budynek, były prawidłowo doświetlone. Pierwszym etapem jest takie przycięcie bryły wyjściowej, aby żadne promienie doświetlające okna należące do kategorii B nie były przez nią blokowane (rys. 4).

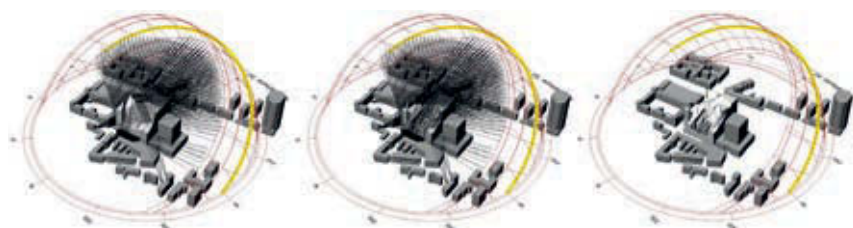


W kolejnym kroku w bryle zmodyfikowanej w pierwszym etapie przycinane są kolejne fragmenty, tak aby zapewnić minimalne nasłonecznienie okien należących do kategorii C, a pozostała kubatura bryły budynku była jak największa (rys. 5).

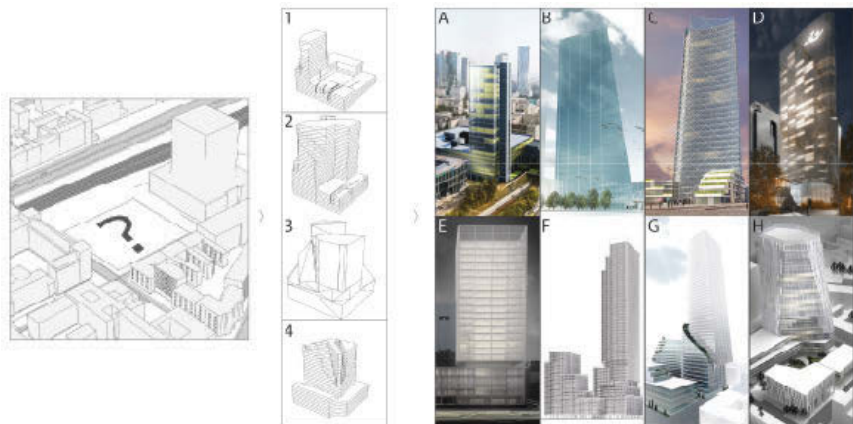
W zależności od tego, jaki układ przestrzenny ma bryła wyjściowa poddawana analizie, można uzyskać różne formy maksymalnej bryły budynku (rys. 6). Jeśli bryłę wyjściową tworzy forma utworzona przez podniesienie obrysu działki do maksymalnej, możliwej w danej lokalizacji wysokości budynku, wówczas wynikowa maksymalna bryła budynku będzie naj-



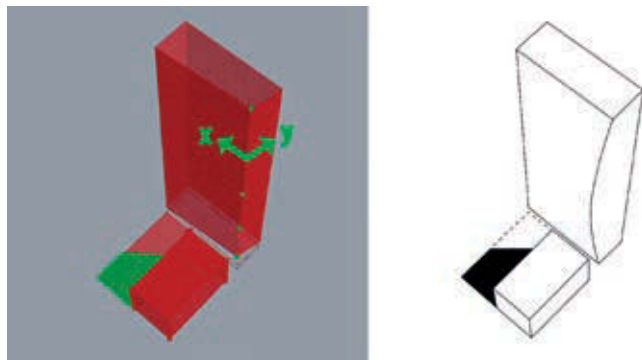
Rys. 4. Analiza nasłonecznienia okien oraz proces wyznaczania maksymalnej bryły budynku – etap pierwszy



Rys. 5. Proces wyznaczania maksymalnej bryły budynku – etap drugi



Rys. 6. Maksymalne bryły budynku wyznaczone dla działki przy ulicy Chmielnej: 1 – Katarzyna Szklarzewska, Dominik Pękalski, 2 – Katarzyna Kossakowska, Borys Wesołowski, 3 – Emilia Krupa, Jakub Pieczyński, 4 – Alicja Woźniak, Krzysztof Redzisz. Projekty finalne: A – Katarzyna Szklarzewska, B – Dominik Pękalski, C – Katarzyna Kossakowska, D – Borys Wesołowski, E – Emilia Krupa, F – Jakub Pieczyński, G – Krzysztof Redzisz, H – Alicja Woźniak



Rys. 7. Modyfikacja wyjściowej bryły budynku w celu doświetlenia placu. Autorka: Katarzyna Górowska

bardziej uniwersalna. Jeśli do analizy użyte zostanie bardziej indywidualne rozwiązanie projektowe, wtedy zaproponowana metoda umożliwi weryfikację przyjętego rozwiązania i pozwoli na jego niezbędną modyfikację w celu spełnienia przepisów nasłonecznienia okien.

Forma budynku kształtowana światłem

Przykładem algorytmicznego podejścia do poszukiwania formy budynku z użyciem algorytmu genetycznego jest projekt wieżowca autorstwa Katarzyny Górowskiej. Opracowana procedura miała na celu modyfikację prostopadłościowej bryły budynku w taki sposób, aby zwiększyć doświetlenie światłem naturalnym placu znajdującego się w sąsiedztwie projektowanego wieżowca. Po przeprowadzeniu wstępnych analiz nasłonecznienia projektowany budynek został podzielony na dwie części. Budynek wysokościowy mógł być zlokalizowany jedynie od strony wschodniej, natomiast w południowej części działki mógł stanąć budynek średniowysoki. Założono, że po północnej stronie działki zostanie zlokalizowana otwarta przestrzeń publiczna, która, jak wykazały analizy, w istotny sposób będzie zacieniana przez projektowane budynki. Z tego względu autorka opracowała procedurę pozwalającą modyfikować bryłę budynku w taki sposób, aby zwiększyć doświetlenie placu, zmniejszając jednocześnie powierzchnię budynku w jak najmniejszym stopniu.

Południowa krawędź budynku została przekształcona w krzywą kontrolowaną za pomocą pięciu punktów, z których trzy mogły się przemieszczać w płaszczyźnie poziomej (rys. 7). W celu znalezienia możliwie kompromisowego rozwiązania został wykorzystany algorytm genetyczny automatyzujący poszukiwanie takiej formy budynku, która pozwala najlepiej doświetlić plac i jednocześnie w jak najmniejszym stopniu zmniejszyć powierzchnię budynku.

W efekcie tego procesu powstała prostopadłościenna bryła, w której dwie ściany były powierzchniami dwukrzywiznowymi. Opracowana procedura generująca elewację pozwoliła przekształcić tę formę w modułową elewację z uskokowo cofającymi się modułami, automatycznie dostosowującymi się do generowanych rozwiązań (rys. 8). W ten sposób algorytmizacja procesu projektowego pozwoliła znaleźć obiektywnie najlepsze rozwiązania, a także zwizualizować złożone efekty przestrzenne.

W podobny sposób algorytmiczne projektowanie pozwoliło znaleźć formę dziedzińca i otaczających go budynków. Tutaj również celem było znalezienie przestrzennej formy obiektów w celu jak najlepszego doświetlenia dziedzińca w porze przerwy obiadowej. W tym wypadku zabudowa została uskoko-

wo wycofana od strony południo-zachodniej, co stworzyło tarasy otwierające się na plac (rys. 9).

Elewacja budynku kształtowana światłem

Innym przykładem wykorzystania projektowania algorytmicznego, dotyczącym również zagadnień związanych z doświetleniem przestrzeni publicznej w zabudowie śródmiejskiej, jest procedura opracowana przez Macieja Sutulę. Celem tej procedury było również doświetlenie zacienionego placu miejskiego. W tym wypadku jednak doświetlenie placu miało polegać na odbiciu promieni świetlnych od fasady projektowanego budynku. Zgodnie z tymi założeniami zachodnia fasada budynku została podzielona na serię dwukondygnacyjnych modułów, których płaszczyzna zewnętrzna mogła się obracać względem poziomej i pionowej osi modułu. Algorytm genetyczny został wykorzystany do poszukiwania optymalnych kątów nachylenia każdego typu paneli w celu doświetlenia placu o innej porze dnia i roku (rys. 10).

Dodatkowo w celu zmniejszenia kosztów realizacji takiej fasady ograniczono liczbę modułów elewacji do pięciu i przewidziano ich wymieszanie w celu ograniczenia skoncentrowanego odbicia promieni słonecznych na placu (rys. 11).

Algorytmiczna weryfikacja rozwiązań

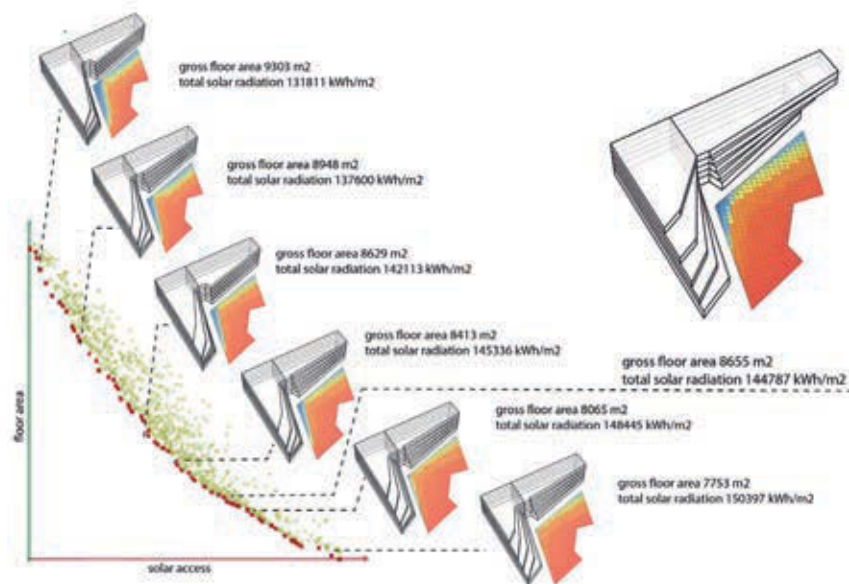
Algorytmiczne podejście do projektowania może być również wykorzystane do weryfikacji problemów wymagających wielokrotnego powtórzenia tej samej czynności. Automatyzacja takich czynności pozwala zaoszczędzić czas, a opracowane narzędzie może być wykorzystane również przy innych projektach. Przykładem takiego narzędzia jest procedura opracowana przez Borysa Wesołowskiego i Katarzynę Kossakowską na potrzeby ich projektu semestralnego. Stworzone przez nich narzędzie pozwala zweryfikować, czy w zaprojektowanym budynku spełnione są przepisy dotyczące dopuszczalnych długości dróg ewakuacyjnych. Narzędzie automatyzuje proces wyliczania długości przejść, dojść i dróg ewakuacyjnych, weryfikując, dla których pomieszczeń w budynku nie są spełnione maksymalne dopuszczalne parametry. Informacja o drogach ewakuacyjnych niespełniających przepisów jest wizualizowana w sposób czytelny (rys. 12).

Algorytmizacja w procesie projektowym

Dynamiczny rozwój cyfrowych narzędzi zarówno do projektowania parametrycznego, jak i generatywnego otworzył przed architektami nowe możliwości. Opracowanie cyfrowej algorytmicznej procedury kontrolującej projekt budynku pozwala przyspieszyć

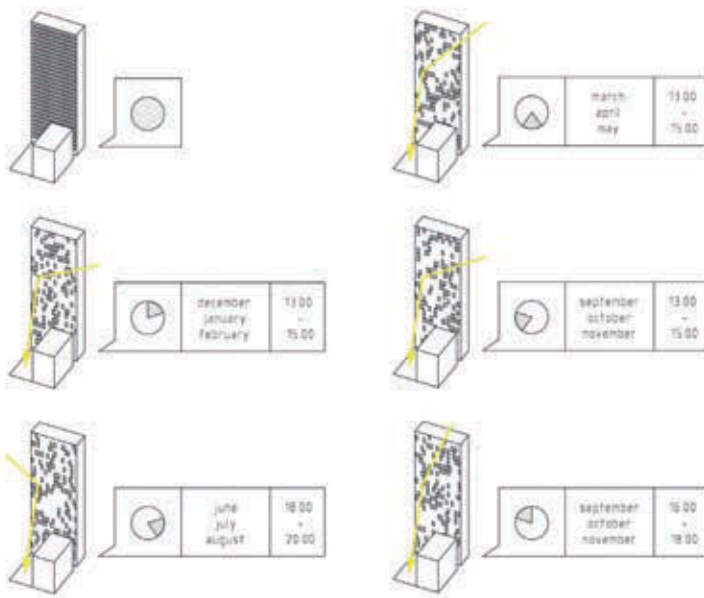


Rys. 8. Wizualizacja finalnej formy budynku. Autorka: Katarzyna Górowska



Rys. 9. Poszukiwanie optymalnej formy budynku. Seria rozwiązań kompromisowych między najlepszym doświetleniem placu a największą powierzchnią użytkową budynku. Autorka: Katarzyna Kossakowska

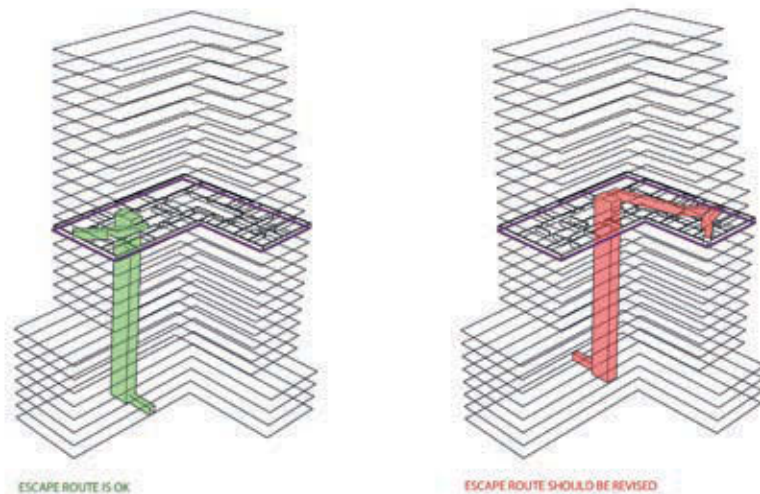
SOLAR OPTIMIZATION



Rys. 10. Podział modułów elewacyjnych na grupy doświetlające plac o różnych porach dnia i roku. Autor: Maciej Sututa



Rys. 11. Doświetlenie placu przez odbicia na elewacji. Wizualizacja finalnej formy budynku. Autor: Maciej Sututa



Rys. 12. Komputerowa procedura umożliwiająca weryfikację układu funkcjonalnego pod kątem prawidłowego rozwiązania dróg ewakuacyjnych. Autorzy: Borys Wesolowski i Katarzyna Kossakowska

i rozbudować proces poszukiwania rozwiązań projektowych. Proces poszukiwań może być czysto subiektywny i odwołujący się do wrażliwości i preferencji wizualnych projektanta, ale może on zostać dodatkowo wzbogacony przez obiektywną weryfikację generowanych rozwiązań projektowych. Obiektywizacja pozwala zweryfikować parametry techniczne uzyskanych rozwiązań i porównać je ze sobą. Optymalizacja z użyciem algorytmów genetycznych pozwala zautomatyzować proces poszukiwania możliwie najlepszego rozwiązania.

Agata Pasternak, agata.pasternak.me
 Krystian Kwieciński, krystiankwiecinski.com

Literatura

- Aish, R., Fisher, A., Joyce, S., & Marsh, A. (2012). Progress towards multi-criteria design optimisation using DesignScript with SMART form, robot structural analysis and Ecotect building performance analysis. *Proceedings of ACADIA*, s. 47-56.
- Almusharaf, A. M., & Elnimeiri, M. (2010). A performance-based design approach for early tall building form development.
- Castorina, G. (2012). Performative Topologies: An Evolutionary Shape Optimization Framework for Daylighting Performance Coupling a Particle-spring System with an Energy Simulation Tool.
- Dritsas, S., Charitou, R., & Hesselgren, L. (2006). Computational Methods on Tall Buildings.
- Holzer, D., Hough, R., & Burry, M. (2007). Parametric design and structural optimisation for early design exploration. *International Journal of Architectural Computing*, 5(4), s. 625-643.
- Kilian, A. (2006). Design innovation through constraint modeling. *International journal of architectural computing*, 4(1), s. 87-105.
- Markusiewicz, J. (2014). PRC Analysis. *Automatyzacja liniiki stołca, Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, 2/2014, s. 55-57.
- Mark, E., Martens, B., & Oxman, R. (2001). The ideal computer curriculum. *Architectural Information Management 19th eCAADe Conference Proceedings*, Helsinki.
- Pasternak, A. and Kwieciński, K. (2015). High-rise Building Optimization - A Design Studio Curriculum. In Martens, B, Wurzer, G, Grasl T, Lorenz, WE and Schaffranek, R (eds.), *Real Time - Proceedings of the 33rd eCAADe Conference - Volume 1*, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 16-18 September 2015, s. 305-314.
- Xie, Y. M., Felicetti, P., Tang, J. W., & Burry, M. C. (2005). Form finding for complex structures using evolutionary structural optimization method. *Design Studies*, 26(1), s. 55-72.

Abstract: This articles explores possibilities of employing algorithmic design techniques in the design of high-rise building located in a city downtown. Complexity of such designs creates a perfect test field for verification of usefulness of algorithmic design in architecture. Examples of algorithmic design procedures are being presented both for the initial stage of the design when extensive analysis are being performed as well as for the conceptual design stage when it is utilized for finding design solutions. Creation of algorithmic procedure controlling the design allows to streamline and extend solution finding design process. Automation of the process of solution searching requires optimization to be employed. Presented algorithmic design procedures are being illustrated with the design projects created by ASK WAPW master students.

Key words: form-finding, algorithmic design, skyscraper, genetic algorithm, optimization