

# Zastosowanie projektowania parametrycznego dla architektury energooszczędnej – studium przypadku



dr inż.

**MARCIN GIEDROWICZ**

Politechnika Poznańska

Wydział Architektury

ORCID: 0000-0002-3055-9222

Artykuł omawia ewolucję nurtu architektury parametrycznej w kontekście opracowanego projektu budynku użyteczności publicznej. W pracy zaprezentowano zaimplementowane metody algorytmizacji architektury w celu nadawania jej cech energooszczędnych.

Projektowanie parametryczne oraz jego bardziej restrykcyjna odmiana, jaką jest projektowanie generatywne [1], powstały jako rozwinięcie programowania wizualnego. Budowa wirtualnego budynku przy użyciu linijek kodu lub kombinacji bloków logicznych niesie ze sobą szczególnie potencjał kreatywny. Projektowany budynek staje się zespołem współzależności geometrycznych i liczbowych, reprezentowanych przez parametry. Jak pisze Arturo Tedeschi, „końcowy wynik to nie tylko »znak cyfrowy«, ale można go uznać za interaktywny model cyfrowy reagujący na zmiany danych wejściowych poprzez manipulowanie całym systemem” [2].

## Architektura parametryczna w trakcie zmiany kursu ideologicznego

Początkowo architektura parametryczna przede wszystkim epatowała złożonością geometrii form (rys. 1.), stanowiąc manifest technologiczny z pogranicza architektury i programowania. Wysiłki awangardy architektonicznej (Zaha Hadid Architects, Bjarke Ingels Group, MAD Architects) „zbiegają się wokół wykorzystania modelowania parametrycznego i technik algorytmicznych do rozwiązywania złożonych problemów projektowych i poszukiwania, oryginalnych, odważnych form i przestrzeni” [3]. Zawsze były to formy bardzo złożone i imponujące, stanowiące wielkie wyzwanie projektowe, zarówno technologiczne, jak i budowlane. Jednak budownictwo tego typu prowadziło do powstania pewnego paradoksu – praca biur projektowych koncentrowała się na rozwiązywaniu problemów, które same tworzyły

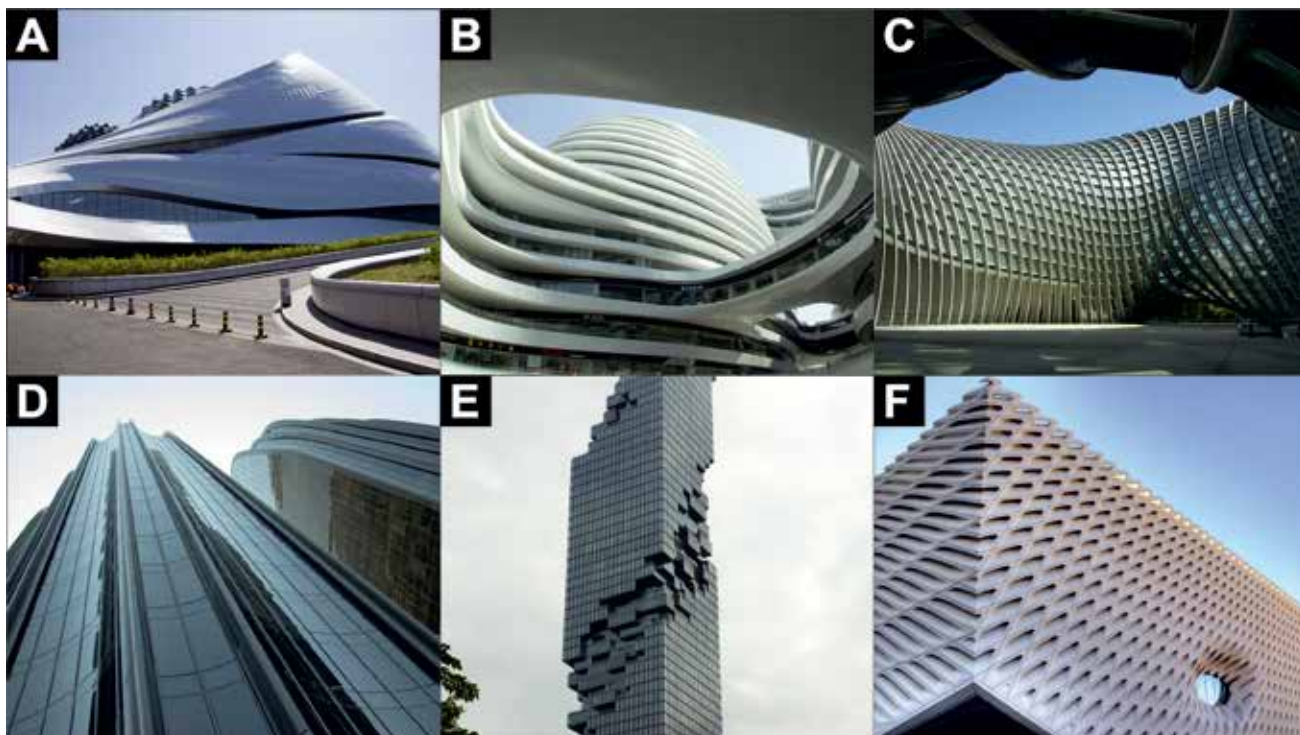
[1] (Morpheus Hotel, Heydar Aliyev Centre). Priorytetem w kreacjach tego typu obiektów była estetyka, a w konsekwencji poszukiwanie sposobu na to, jak zbudować bryłę o tak złożonej geometrii. Obecnie sytuacja kształtuje się inaczej, a ideologia tworzenia obiektów architektury parametrycznej podlega rewizji i przewartościowaniu. Biura projektowe próbują rozwiązywać nowe problemy, które przychodzą do świata architektury wraz ze zmianami klimatycznymi, technologicznymi oraz cywilizacyjnymi [4]. Przykładowo biurem, które chętnie sięga po parametryczne metody projektowania w celu rozwiązywania problemów w architekturze, głównie związanych z zarządzaniem energią, jest holenderskie UNstudio. Biuro to używa projektowania parametrycznego głównie do podnoszenia cech proekologicznych budynków. Formy architektoniczne tworzone przez UNstudio są bezpośrednią pochodną obliczeń optymalizacyjnych (Raffles City Hangzhou, Melbourne Skyscraper). Mimo że w tej metodzie projektowania estetyka znajduje się na dalszym planie, to proces optymalizacji często wiedzie do atrakcyjnych rozwiązań brytowych. Również polskie biura projektowe coraz chętniej wykorzystują automatyzację architektury oraz procesy optymalizacyjne (Designbotic, Zieta Studio, Ingarden & Ewy).

Istotnym wyzwaniem badawczym jest wykorzystanie potęgi obliczeniowej komputera i procesów optymalizacji do podnoszenia cech energooszczędności obiektów architektury. Mimo że, jak pisze James Wines [5] oraz J. Marchwiński i K. Zielonko-Jung [6], energooszczędność stanowi jedną z wielu cech architektury proekologicznej, to jest cechą szczególnie istotną i łatwo mierzalną.

**Początkowo architektura parametryczna przede wszystkim epatowała złożonością geometrii form, stanowiąc manifest technologiczny z pogranicza architektury i programowania.**

Wymierność konsumpcji energii i umiarkowana prostota jej kalkulacji stanowią istotną wytyczną projektową, która często ma bezpośrednie odzwierciedlenie w przepisach prawa. W polskim porządku prawnym kwestia energooszczędności obiektów architektury scharakteryzowana jest między innymi w § 329 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury, powszechnie określanego jako Warunki Techniczne [5], oraz w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Energooszczędność budynku charakteryzowana jest jako współczynnik EP (bilans nieodnawialnej energii pierwotnej), a jej dopuszczalny poziom opisany jest jednostką  $EP = [kWh/m^2rok]$  [6]. Badania naukowe i praktyka projektowa definiują kilka efektywnych metod obniżania konsumowanej energii przez obiekty architektury [8], [9], [10], [11], [12]. Do tego zestawu należą między innymi kontrola następczenia i radiacji budynku [13], [14], [15], dobór odpowiednich materiałów budowlanych i termoizolacyjnych oraz zapewnienie znacznej zwartości





Rys. 1. Zestawienie obiektów reprezentacyjnych dla nurtu architektury parametrycznej. A – Harbin Opera House proj. MAD Architects, B – Galaxy SOHO proj. ZHA, C – Phoenix International Media Center proj. BIAD, D – Chaoyang Park Plaza proj. MAD Architects, E – King Power Mahanakhon Tower proj. Ole Sheeren, F – The Broad proj. Diller Scofidio + Renfro; źródło: autor

bryły budynku (której miarą jest współczynnik A/V). Forma zwarta to taka, która najlepiej wykorzystuje kubaturę obiektu. Budynek zwarty to taki, który przy dużej kubaturze i powierzchni wewnętrznej jednocześnie ma niewielką powierzchnię ścian zewnętrznych, podłogi na gruncie oraz dachu. Z punktu widzenia dogmatów architektury energooszczędnej jest to szczególnie istotne, gdyż redukcja powierzchni zewnętrznych przegród termicznych znacznie zmniejsza straty ciepłe w okresie grzewczym [16]. Również podczas gorącego lata mniejsza powierzchnia obudowy budynku redukuje negatywny proces jej przegrzewania. Radiacja (konwersja termicznej energii promieniowania słonecznego [17]) to proces przegrzewania się budynku od promieni słonecznych, problem szczególnie istotny w polskim klimacie. Latem budynki mają tendencje do przegrzewania się, co stanowi negatywne zjawisko. Natomiast podczas zimy zjawisko radiacji elewacji ma charakter pozytywny, gdyż jest to źródło darmowej energii grzewczej.

Tym samym celem badawczym niniejszego artykułu jest opracowanie modelowej metody projektowania budynków

energooszczędnych z wykorzystaniem elementów projektowania parametrycznego oraz wykazanie jej skuteczności.

**Metoda badawcza**  
**Opis materiału badawczego**

Materiałem badawczym jest realizacyjny projekt obiektu użyteczności publicznej, mieszczący żłobek oraz przychodnię zdrowia NZOZ, w całym spektrum procesu inwestycyjnego – projekt koncepcyjny, budowlany, wykonawczy oraz nadzór autorski nad procesem budowy. Materiał badawczy stanowi dokumentacja projektowa, wirtualny model budynku oraz zrealizowany obiekt.

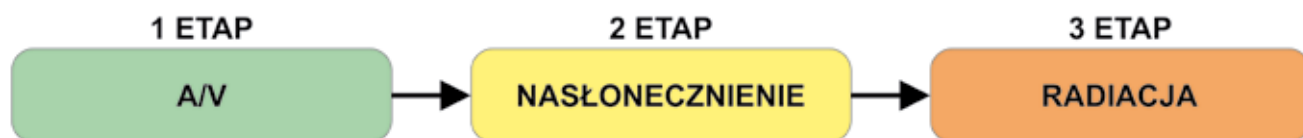
**Opis wykorzystywanych narzędzi badawczych**

Do przeprowadzenia badań wykorzystano zestaw programów Rhinoceros + Gasshopper + Ladybug, solver optymalizacyjny Galapagos oraz autorskie rozwiązania algorytmiczne.

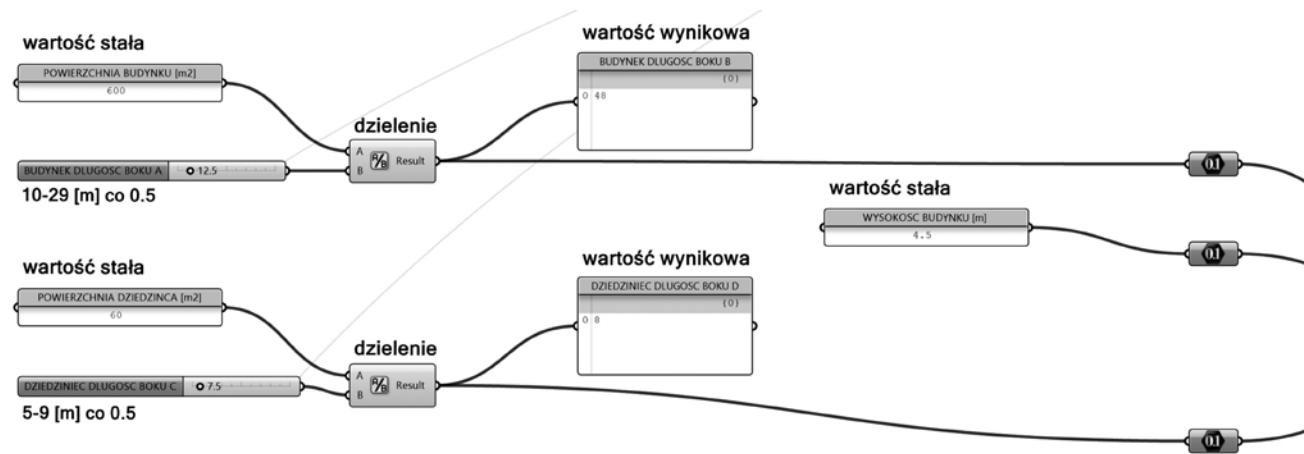
**Opis procedury badawczej**

Badanie podzielono na trzy etapy (rys. 2.). Pierwszy z nich koncentruje się na

wyznaczeniu najlepszego kształtu budynku przy przyjętym kryterium oceny, jakim jest współczynnik zwartości kształtu A/V. Na potrzeby tego projektu napisany został algorytm wykorzystujący wtyczkę Galapagos, którego zadaniem było obliczenie najbardziej zwartej bryły budynku. Jako warunki brzegowe problemu optymalizacyjnego [18] przyjęto, że budynek oraz jego dziedziniec musi mieć kształt prostokątny. Wykluczono formy koliste, trójkątne i nieregularne – ze względu na ich niezgodność z obowiązującą decyzją o warunkach zabudowy lub preferowanym układem funkcjonalnym budynku. Istotnym elementem obliczeń, determinującym proces kalkulacyjny, było zapewnienie niezmiennych powierzchni budynku (600 m<sup>2</sup> mierzonych po zewnętrznym obrysie ścian) oraz dziedzińca, którego powierzchnia miała wynosić 60 m<sup>2</sup>. Wielkości tych powierzchni zostały oszacowane na podstawie programu funkcjonalnego obiektu oraz wymiarów poszczególnych pomieszczeń. Kształt i wymiary dziedzińca nie mogły powodować rozcięcia budynku na dwie osobne bryły. Co więcej, liczbowo charakteryzowany był tylko jeden wymiar budynku (A) i jeden



Rys. 2. Schemat procedury badawczej; źródło: autor



Rys. 3. Sparametryzowane warunki brzegowe problemu optymalizacyjnego; źródło: autor

## Obecnie ideologia tworzenia obiektów architektury parametrycznej podlega rewizji i przewartościowaniu.

wymiar dziedzińca (C). Drugi wymiar był wynikiem pierwszego, co stanowiło wynik dzielenia powierzchni budynku (B) / dziedzińca (D) przez pierwszy wymiar. Algorytm zbudowano w taki sposób, aby minimalna długość boku budynku wynosiła 10 m, a maksymalna 29 m (rys. 3).

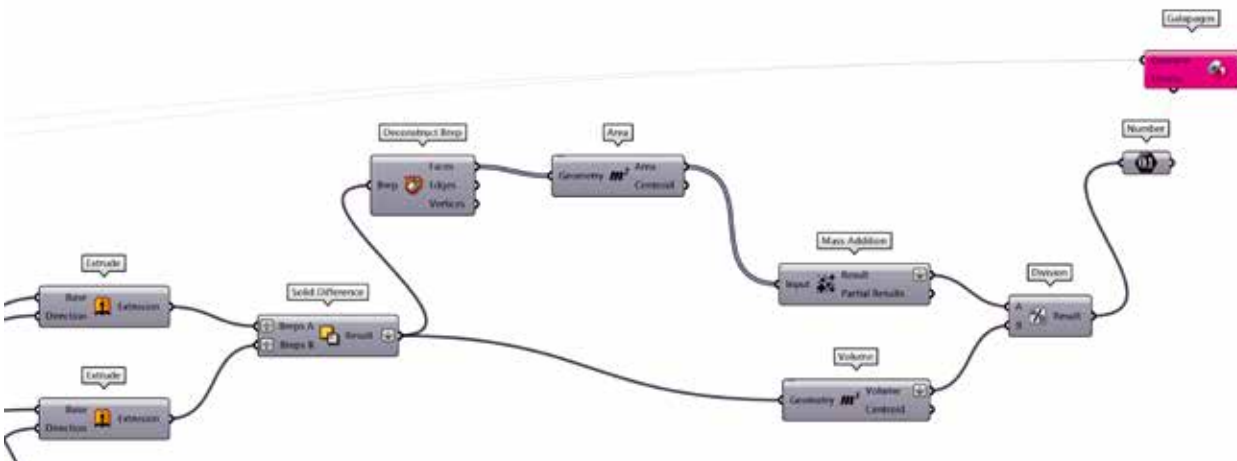
Natomiast dopuszczalne wymiary boku dziedzińca zostały ustalone jako przedział liczbowy między 5 i 9 m. Zabieg ten wykluczył generowanie obiektów jednocześnie bardzo długich i wąskich. Ostatnim szczególnie istotnym parametrem procesu optymalizacyjnego było ustalenie zmian wymiaru ścian regulowanego co 0,5 m. Wysokość budynku pozostawała niezmienna w każdym przypadku. W celu prawidłowej kalkulacji A/V algorytm wykonuje operację odejmowania brył – od

prostokątnej bryły budynku odejmuje prostokątną bryłę dziedzińca. Uzyskana w ten sposób geometria rozbijana jest na 10 powierzchni (rys. 4), gdzie dla każdej indywidualnie obliczana jest powierzchnia. Wszystkie powierzchnie są sumowane, a następnie dzielone przez wcześniej obliczoną objętość bryły – w ten sposób uzyskując wartość współczynnika A/V. Wartość ta wprowadzona jest do bloku Galapagos, który traktuje ją jako kryterium doboru naturalnego w procesie optymalizacji ewolucyjnej. Uzyskane wyniki zostały zgromadzone w formie katalogu rozwiązań, posortowanego ze względu na przyjęte kryterium oceny. Tym samym, zgodnie z koncepcją opracowaną przez Bogdana Branowskiego [19], utworzona została macierz morfologiczna wariantów rozwiązania problemu optymalizacyjnego. Analogiczną metodę działania opisali również Gerhard Pahl i Wolfgang Beitz w monografii *Nauka konstruowania* [20].

Kolejnym etapem pracy było przeprowadzenie serii obliczeń środowiskowych. Do ich realizacji użyto zestawu programów Rhinoceros + Grasshopper oraz wtyczki Ladybug. Ladybug to narzędzie służące do obliczeń

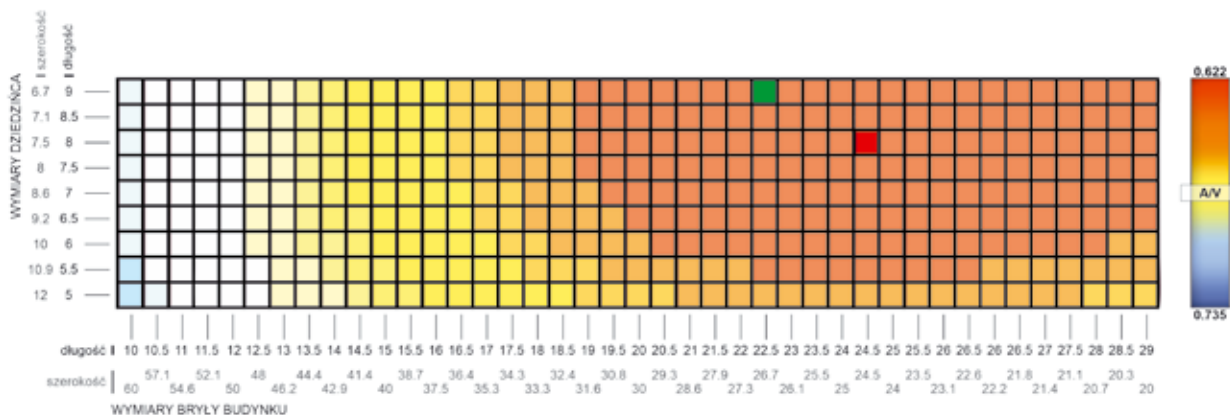
związanych z następcznieniem i warunkami pogodowymi w danej lokalizacji. Wtyczka ta pozwala symulować zjawiska fizyczne, które mają bezpośredni wpływ na gospodarkę energetyczną budynku. Model pogody zaimplementowany do badania pozyskano z bazy danych EPW (Energy Plus Weather) dla lokalizacji miasta Poznań, które znajduje się 120 km od lokalizacji projektowanego budynku. Przyjęto, że warunki pogodowe są jednakowe dla miasta Poznań oraz Cztopy. Datę pomiaru ustalono w dniu równonocy wiosennej – 22 marca, w ujęciu godzinowym 8.00–16.00. Do badania zastosowano uproszczony wirtualny model budynku, importowany do programu Rhinoceros. Stworzono wirtualny model solarny w oparciu o pozyskane dane pogodowe. Badaniu następcznienia zostały podane tylko powierzchnie szklane okien oraz drzwi. Dla uzyskania precyzyjnych wyników analizy wszystkie tafle szkła zostały podzielone na mniejsze obszary analizy, o wymiarach zbliżonych do 0,25 x 0,25 m.

Dla każdego obszaru analizy kalkulacja ilości godzin następcznienia obliczona została indywidualnie. Uzyskane obliczenia zostały przekazane do dalszej kalkulacji i analizy.



Rys. 4. Kluczowy fragment opracowanego algorytmu optymalizacyjnego, obliczający współczynnik A/V bryły budynku. Schemat blokowy z programu Grasshopper; źródło: autor





Rys. 5. Spektrum rozwiązań problemu optymalizacyjnego na wykresie liczbowo-kolorystycznym; źródło: autor

Wyniki badania miały na celu potwierdzić zgodność poziomu nasłonecznienia budynku z obowiązującymi przepisami prawa. Wyniki zostały przedstawione na trójwymiarowym modelu wirtualnym, który jednocześnie stanowi wykres kolorystyczny i liczbowy.

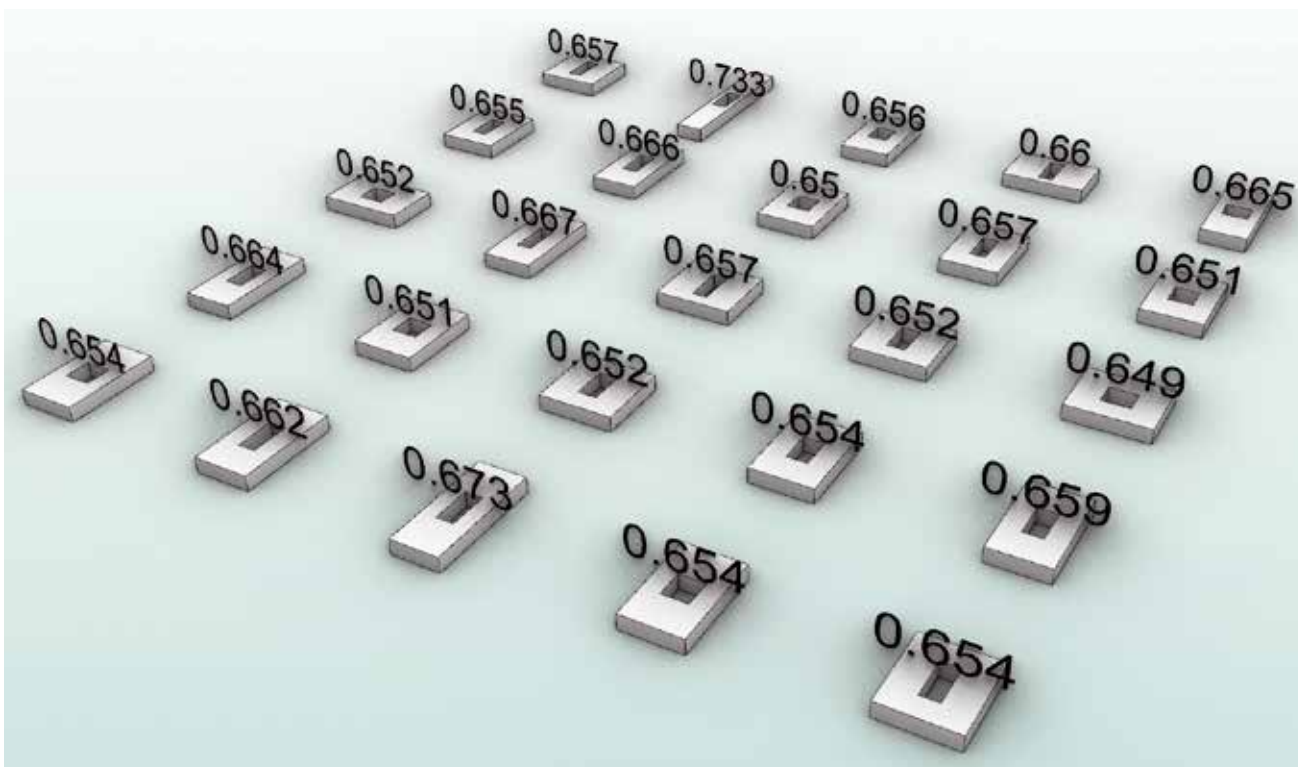
Na tym etapie pracy wykorzystano jednokowy zestaw narzędzi analitycznych jak na etapie drugim, jednak obszar analizy został zawężony. Badaniu została poddana tylko południowa elewacja budynku. Badanie polegało na kalkulacji ilości energii cieplnej, jaka zostanie wyemitowana przez słońce na powierzchnię ściany, przy zmiennej ilości zieleni izolacyjnej w formie drzew. Podjęto decyzję, że do analizy zostanie wykorzystane drzewo z gatunku katalpa – surmia, o pokroju pionowo-eliptycznym, o wymiarze 3,5 x 6 m. Badanie sprawdzono 10 wariantów

– od 0 sztuk drzew do 9 sztuk – rozmieszczonych w jednakowych odległościach wzdłuż południowej elewacji budynku. Cały obszar badawczy został podzielony na prostokąty przybliżonym wymiarze 0,5 x 0,5 m. Badanie zostało wykonane dla przedziału czasowego od 1 maja do 30 września roku statystycznego. Algorytm zbadał poziom radiacji w ujęciu godzinowym. Uzyskane pomiary stanowią sumę radiacji wszystkich powierzchni w ustalonym czasie i wyrażone zostały jednostką kWh/m<sup>2</sup>. Pomiary zostały zebrane w formie dwuwymiarowego wykresu i przekazane do dalszej analizy. Uzyskane wyniki zostały zgromadzone w formie katalogu rozwiązań, przedstawionego na dwuwymiarowym wykresie. Uzyskany w ten sposób zbiór wariantów zostaje przekazany do późniejszej analizy przez projektanta obiektu.

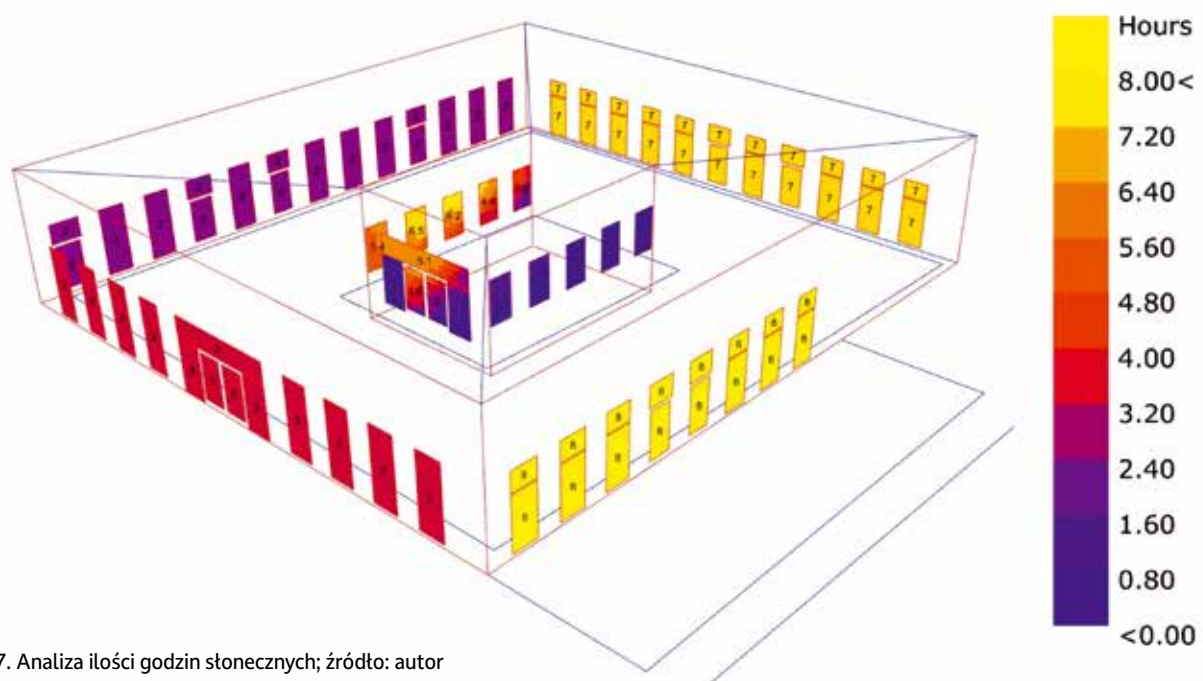
**Istotnym wyzwaniem badawczym jest wykorzystanie potęgi obliczeniowej komputera i procesów optymalizacji do podnoszenia cech energooszczędności obiektów architektury.**

**Wyniki badań  
Etap 1.**

Współczynnik A/V jest tym lepszy, im mniejszy, tym samym scharakteryzowany problem badawczy przybrał formę jednokryterialnego problemu optymalizacyjnego dążącego do zera. Na rys. 4. przedstawiono



Rys. 6. 25-elementowy losowy wycinek katalogu rozwiązań problemu (macierz morfologiczna wariantów) współczynnika A/V dla projektowanego budynku; źródło: autor



Rys. 7. Analiza ilości godzin słonecznych; źródło: autor

wygenerowaną przestrzeń wszystkich możliwych rozwiązań tego problemu optymalizacyjnego, przy wcześniej określonych warunkach brzegowych. Na osi umieszczono zewnętrzne wymiary budynku [m] – kolorem czarnym odnotowana jest wartość, która była optymalizowana, kolorem szarym wartość wynikowa. W podobny sposób na Y umieszczono wymiary działki. Kolorem czerwonym oznaczono teoretycznie najlepsze rozwiązanie problemu optymalizacyjnego – czyli budynek o kształcie zbliżonym do kwadratu, wraz z niemal kwadratowym działkiem (24,5 x 24,5 m oraz 8 x 7,5 m) o współczynniku A/V = 0,622 m<sup>-1</sup>. Kolorem zielonym oznaczono przybliżoną pozycję tego wariantu wymiarowego, który został wybrany przez projektanta z katalogu rozwiązań (rys. 5.) (bryła budynku 27 x 24,5 m oraz działki 9 x 6,5 m). Decyzja ta podyktowana była większą łatwością rozwiązania

układu funkcjonalnego w obiekcie o takich wymiarach, jednak przy zachowaniu parametru A/V na satysfakcjonującym poziomie równym 0,628 m<sup>-1</sup>.

**Etap 2.**

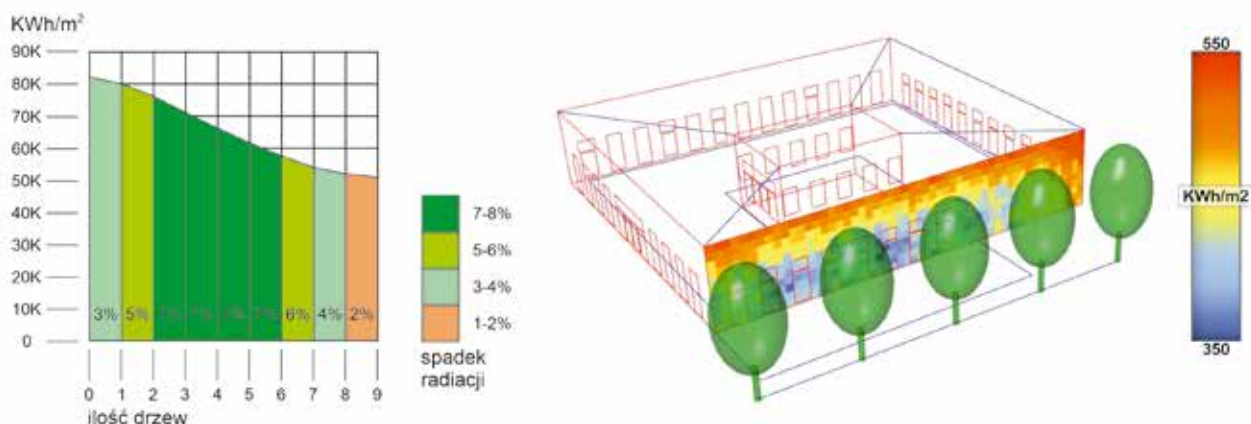
Kluczowe dla uzgodnień z rzeczoznawcami do spraw sanitarnych oraz BHP było zapewnienie dla dzieci odpowiedniej ilości światła słonecznego (§ 60 WT traktujący o obowiązku zapewnienia 3 godzin słonecznych w godzinach 8.00–16.00 [7]). Zastosowanie Ladybug dało precyzyjne obliczenia dla każdego okna indywidualnie (pomiar w dniu równonocy wiosennej – 20 marca 2021 roku).

Okna znajdujące się na elewacjach zewnętrznych wykazywały jednakowe i przewidywalne wyniki. Okna umieszczone w ścianach działki, ze względu na zjawisko samo zaciniania, miały bardziej

złożoną charakterystykę nasłonecznienia (rys. 7.). Przeprowadzone obliczenia wykazały, że światła słonecznego bezpośrednio wpadającego do pomieszczeń przeznaczonych dla dzieci budynku jest bardzo dużo. Na wykresie kolorem żółtym oznaczono pełne 8 godzin światła ekspozycji słonecznej. Badanie wykazało zgodność z przepisem prawa, ale również zwróciło uwagę na inny problem projektowy, jakim może być zbyt duża ilość światła słonecznego w okresie letnim [21].

**Etap 3.**

Pomiar radiacji elewacji budynku przy obecności oraz bez został przedstawiony na wykresie (rys. 8.). Na osi X odnotowano liczbę drzew ustawionych wzdłuż elewacji, natomiast na osi Y oznaczono poziom radiacji elewacji określony jednostką kWh/m<sup>2</sup>. Kolorystycznie i procentowo określono na wykresie postęp regresji radiacji względem zwiększającej się liczby drzew. Brak



Rys. 8. Pomiar radiacji elewacji budynku przy obecności drzew oraz bez; źródło: autor





Rys. 9. Żłobek w trakcie budowy – stan z kwietnia 2023; źródło: autor

zaciających drzew skutkowało radiacją na poziomie przewyższającym 80 000 kWh/m<sup>2</sup>. Wprowadzenie jednego drzewa spowodowało obniżenie radiacji o 3%, dwóch o kolejne 5%. Każde kolejne drzewo (2, 3, 4, 5, 6) powodowało spadek przegrzania elewacji o 7%, obniżając ją do poziomu poniżej 60 000 kWh/m<sup>2</sup>. Po przekroczeniu liczby 6 drzew ustawionych szeregowo wzdłuż elewacji osiągnięto ze zwiększania ich liczby były nieproporcjonalne wobec liczby drzew. Dalsze zwiększanie zagęszczenia drzew straciło sens projektowy – podjęto decyzję o wyborze optymalnego rozwiązania, jakim jest 6 sztuk.

### Decyzje projektowe wobec wyników badań

Uzyskany katalog rozwiązań problemu optymalizacyjnego był obszerny. Wybór padł na tę wersję, która odpowiadała kształtem programowi funkcjonalnemu obiektu oraz miała wartość współczynnika A/V na bardzo dobrym poziomie równym 0,628 m<sup>-1</sup>. W rezultacie uzyskano formę o kształcie zbliżonym do kwadratu, mającą w swoim centrum dziedziniec o kształcie również zbliżonym do kwadratu. Bryła tego typu realizuje najlepszy stosunek proporcji objętości do powierzchni przegród termicznych, co w konsekwencji zapewnia najlepszy model gospodarki energią.

Badanie wykazało zgodność projektu z przepisami prawa oraz wskazało obszar wymagający ingerencji projektowej. Pojawiła się obawa, że w pokojach dla dzieci będzie zbyt gorąco, a dzieci będą narażone na

## Badania naukowe i praktyka projektowa definiują kilka efektywnych metod obniżania konsumowanej energii przez obiekty architektury.

oślepienie zbyt silnymi promieniami słońca. Pierwszą propozycją rozwiązania tego problemu było umieszczenie na oknach poziomych łamaczy światła. Jednak lepsze rozwiązanie tego problemu dostarczyły analizy przeprowadzone przy użyciu wtyczki Ladybug. Opracowane symulacje wykazały, że zamiast łamaczy światła równie skuteczne będzie zasadzenie drzew od południowej strony budynku. W ten sposób drzewa będą rzucały cień oraz blokowały nadmierny dostęp światła słonecznego do budynku, jak również na plac zabaw. Rozwiązanie to ma kilka zalet, takich jak: ochrona dzieci przed udarem słonecznym podczas zabawy na placu zabaw, estetyka i biofilia – obecność drzew wprowadza przyjemny klimat, obniżenie radiacji fasady w okresie letnim, wyeliminowanie łamaczy światła będących zagrożeniem dla dzieci (oparzenia od nagrzanego powierzchni).

Przeprowadzone badanie radiacji wskazało, że zasadzenie 6 drzew jest w stanie znacząco ograniczyć przegrzewanie się budynku w okresie letnim, eliminując potrzebę chłodzenia za pomocą klimatyzacji (tym samym redukując konsumpcję energii). W rezultacie zaprojektowano ciąg drzew katalpa – surmia

wzdłuż południowej ściany budynku. Dodatkowym atutem liściastych drzew izolacyjnych jest to, że tracą liście w okresie jesienno-zimowym. Wówczas bezlistne drzewa umożliwiają dostęp promieni słonecznych, które stanowią bezkosztowy system grzewczy (słoneczny uzysk energetyczny).

### Dalsze działania projektowe

W budynku zaprojektowano dwie niezależne pompy ciepła wraz z instalacją fotowoltaiczną znajdującą się na południowej stronie dachu płaskiego. Powierzchnia użytkowa budynku to 505 m<sup>2</sup>, z czego 498 m<sup>2</sup> stanowi powierzchnię ogrzewaną. Współczynnik A/V budynku po procesie optymalizacji bryły budynku wyniósł A/V = 0,628 m<sup>-1</sup>. Budynek został ocieplony styropianem o gr. 24 cm i współczynnikiem przewodności cieplnej  $\lambda = 0,032$  W/m<sup>2</sup>K, zastosowane okna PCV i aluminiowe drzwi gwarantowały współczynniki U < 1,1 W/m<sup>2</sup>K (rys. 9). Projektowana charakterystyka energetyczna budynku, sporządzona przez zespół branżystów, oszacowała konsumpcję energii na poziomie EP = 41,8 [kWh/m<sup>2</sup>rok] przy wymaganej normie EP < 45 [kWh/m<sup>2</sup>rok].

### Przyszłe kierunki badań

Kierunki dalszych prac badawczych zorientowane są wokół audytu energetycznego zrealizowanego budynku. Analiza konsumpcji energii jednoznacznie wykaże efektywność przyjętych rozwiązań projektowych, będących pokłosiem przeprowadzonych badań. Obserwacji i ankietyzacji zostaną poddani również użytkownicy budynku, którzy



wypowiedzą się na temat komfortu korzystania z obiektu. Recenzji zostanie poddany system regulacji nastonecznienia i radiacji elewacji za pomocą drzew. Porównanie danych między modelem wirtualnym i żywym obiektem dostarczy cennych wniosków badawczych oraz wytycznych projektowych, jednocześnie stanowiąc realizację celu pobocznego.

## Podsumowanie i dyskusja

Nurt architektury parametrycznej aktualnie jest w procesie przemiany w nowo obranym kierunku. Zachodząca przemiana ma szansę zrewolucjonizować dogmaty architektury współczesnej i samo postrzeganie użyteczności jej automatyzacji. Połączenie nurtu architektury parametrycznej i architektury energooszczędnej wydaje się symbiozą doskonałą. Architektura parametryczna prawidłowo wykorzystuje potęgę obliczeniową komputera, która wiedzie do rozwiązań architektonicznych chroniących środowisko naturalne przez redukcję konsumpcji energii. Metody obliczeniowe takie jak A/V potrafią wpłynąć na kolejne etapy projektu, przyczyniając się do istotnych zmian w gospodarce energetycznej budynku. Kluczowy jest prawidłowy dobór metody obliczeniowej do specyfiki konkretnego budynku. Dzięki parametrycznym metodom obliczeniowym oraz automatyzacji obiektu budowlanego narzędzia obliczeniowe mogą być wydajnie dostosowywane do specyficznych zadań i kryteriów ewaluacji budynku. Ułatwia to również tworzenie niestandardowych metod obliczeniowych lub dostosowywanie tych istniejących do obiektów niemieszczących się w typowej problematyce. Badanie współczynnika zwartości kształtu budynku stanowi istotne wspomaganie procesu podejmowania decyzji projektowych. Ułatwia wybór i selekcję rozwiązań optymalnych z punktu widzenia energooszczędności budynków. Wzbogacenie obliczeń A/V o problematykę nastonecznienia i radiacji elewacji budynku tworzy efektywny i kompleksowy aparat analityczny do oceny energooszczędności budynków.

## Bibliografia

- [1] Bonenberg W., Giedrowicz M., Radziszewski K., Współczesne projektowanie parametryczne w architekturze, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej: Poznań, ISBN 978-83-7775-548-8, 2019.
- [2] Tedeschi A., AAD\_Algorithms-Aided Design, Le Penseur, 2014, ISBN 978-88-95315-30-0.
- [3] Helenowska-Peschke M., Parametryczno-Algorytmiczne Projektowanie Architektury, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2014, PL ISBN 798-83-7348-578-8.
- [4] Krezlik A., Many beginnings: the thought, thinkers and actions behind the planet-oriented architecture, „Budownictwo i Architektura” 2021, 20(1), s. 005–024.
- [5] Wines J., Zielona Architektura, Tashen, 2000, ISBN 978-83-89192-47-9.
- [6] Marchwiński J., Zielonko-Jung K., Współczesna Architektura Proekologiczna, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2014, ISBN 978-83-01-17053-0.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

[8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

[9] Menges A., Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design, „Architectural Design”, vol. 84, no. 2, 2014, s. 14–23.

[10] Gomiero A., Generative Design and Energy Performance Optimization, „A Review Renewable and Sustainable Energy Reviews”, vol. 83, 2018, s. 810–829.

[11] Schlueter A., Energy Design Strategies for Parametric Architecture, „Architectural Design”, vol. 88, no. 2, 2018, s. 88–95.

[12] Laseau P., Energy-Efficient Design: An Architect's Guide, John Wiley & Sons, 2013.

[13] Carbonell J., Proclimat: Parametric Design for Energy Efficiency in Mediterranean Climates, „Journal of Green Building”, vol. 11, no. 2, 2016, s. 130–147.

[14] Ceccato C., An Integrated Approach to Energy Efficiency in Generative Architecture, „International Journal of Architectural Computing”, vol. 16, no. 2, 2018, s. 169–186.

[15] Loghman M., Researching on Sustainable Architecture in Approach to Energy Efficiency, „JUMES”, Volume 2, Issue 2, Summer and Autumn 2020, s. 127–133, 10.22034/JUMES.2020.242518, 2020.

[16] Lylykangas K., Shape Factor as an Indicator of Heating Energy Demand, Internationales Holzbau-Forum IHF, 2009.

[17] Chwieduk D.; Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 2006.

[18] Cichocka J., Architectural Design Optimization (ADO) opens new horizons in practice, ArchiMAG, 2018.

[19] Branowski B., Metody twórczego rozwiązywania problemów inżynierskich, Wielkopolska Korporacja Techniczna NOT, 1999.

[20] Pahl G., Beitz W., Nauka konstruowania, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1984.

[21] Reinhard C., Daylighting Handbook II: Daylight Simulations, Dynamic Façades, Building Technology Press, 2018.

**DOI: 10.5604/01.3001.0053.8654**

## PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Giedrowicz Marcin, 2023, Zastosowanie projektowania parametrycznego dla architektury energooszczędnej – studium przypadku, „Builder” 10 (315), DOI: 10.5604/01.3001.0053.8654

**Streszczenie:** Artykuł omawia ewolucję nurtu architektury parametrycznej w kontekście opracowanego projektu budynku użyteczności publicznej. W pracy zaprezentowano zaimplementowane metody algorytmizacji architektury w celu nadawania jej cech energooszczędnych. Prezentuje kompleksową metodykę optymalizacyjno-projektową (analiza i optymalizacja współczynnika A/V, nastonecznienia i radiacji) przy zastosowaniu oprogramowania Rhinoceros i Grasshopper. Uzyskane wyniki badań wpłynęły na zmiany w projekcie, dzięki nim udało się zredukować wartość A/V do 0,628 m<sup>-1</sup>, precyzyjnie obliczyć czas nastonecznienia oraz wykazać jego zgodność z przepisami prawa, obniżyć poziom radiacji południowej elewacji projektowanego obiektu. Artykuł dowodzi słuszności i wydajności stosowania algorytmów w architekturze oraz wskazuje efektywne i praktyczne metody ich stosowania.

**Słowa kluczowe:** projektowanie parametryczne, architektura energooszczędna, optymalizacja, A/V, nastonecznienie, radiacja

**Abstract: APPLICATION OF PARAMETRIC DESIGN FOR ENERGY EFFICIENT ARCHITECTURE – CASE STUDY.** The article discusses the evolution of the parametric architecture trend in the context of the developed project

of a public utility building. The work presents the implemented methods of architecture algorithmization in order to give it energy-saving features. It presents a comprehensive optimization and design methodology (analysis and optimization of the A/V ratio, insolation and radiation) using the Rhinoceros and Grasshopper software. The obtained research results influenced changes in the design, thanks to which it was possible to: reduce the A/V value to 0.628 m<sup>-1</sup>, precisely calculate the time of insolation and prove its compliance with the law, reduce the radiation level of the southern façade of the designed facility. The article proves the validity and efficiency of the use of algorithms in architecture, and indicates effective and practical methods of their use.

**Keywords:** parametric design, energy efficient architecture, optimization, A/V, insolation, radiation