

# Figuracja cyfrowa a model figura-tło w projektowaniu współczesnej architektury mieszkaniowej

## Digital figuration versus analogue figure-ground model in contemporary residential architecture design

### Streszczenie:

Niniejszy artykuł przedstawia zagadnienie możliwych kierunków ewolucji konceptów kreacji warunków postrzegania architektury. W artykule postawiono pytanie o kierunki zmian postrzegania środowiska mieszkaniowego przyszłości w kontekście zmniejszającego się udziału architekta w procesie projektowym na rzecz zautomatyzowanych procesów cyfrowych. Studia tego tematu przeprowadzono metodą analityczną jakościową oraz metodą badań bibliograficznych. Do analizy projektów i ich szerokiego kontekstu zastosowany został aparat pojęciowy zapożyczony z psychologii postaci w architekturze. Pozwala on wskazać podobieństwa i różnice w projektowaniu opartym na decyzji projektanta, parametrycznym i generowanym przez sztuczną inteligencję na podstawie figuracji będącej jego rezultatem. Dotychczas w literaturze nie przeprowadzono szczegółowej analizy narzędzi cyfrowych służących wspomaganie projektowania w kontekście aspektu postrzeżeniowego odbiorcy.

### Abstract:

This article presents the issue of possible directions of evolution of the concepts of creation of conditions of perception of architecture. The paper asks the question about the directions of changes in the perception of the residential environment of the future in the context of decreasing participation of the architect in the design process in favor of automated digital processes. The study of this topic was carried out using a qualitative analytical method and a bibliographic research method. A conceptual apparatus borrowed from the psychology of characters in architecture was used to analyze the projects and their broad context. It allows indicating the similarities and differences in design based on the designer's decision, parametric, and generated by artificial intelligence on the basis of the resulting figuration. So far, no detailed analysis of digital tools for design support has been performed in the literature in the context of the perceptual aspect of the viewer.

Słowa kluczowe: projektowanie architektoniczne, cyfrowe wspomaganie projektowania, psychologia widzenia

Keywords: architectural design, computer-aided design, visual perception

### WSTĘP, ZAKRES I METODA

W trakcie dwóch ubiegłych dekad XXI wieku obserwuje się stały postęp w zakresie usprawniania pracy projektanta, inwestora i wykonawcy w procesie projektowym. Jego założeniem jest nie tylko eliminacja błędów i obniżenie kosztów realizacji, ale również poprawa warunków życia ludzi w środowisku mieszkaniowym w mieście. Nastąpił niespotykany dotąd postęp w zakresie narzędzi i technik wspomaganie architekta w jego pracy. Oprogramowanie służące do wspomaganie projektowania pozwala na optymalizację parametrów energooszczędności i usprawnienie procesu realizacji w skali wcześniej niemożliwej do osiągnięcia. U progu trzeciej dekady spodziewać się można dalszego, dynamicznego rozwoju w zakresie automatyzacji procesu projektowania i stopniowego zmniejszania roli kreślarza w tym procesie. Co zaś się tyczy roli architekta, przewidywać można zwiększenie wspomagającej roli sztucznej inteligencji (*artificial intelligence* – AI) i stopniowego zastępowania

### INTRODUCTION, SCOPE AND METHOD

During the last two decades of the twenty-first century, there has been a steady progress in improving the work of the designer, investor, and contractor in the design process. Its aim is not only to eliminate errors and lower the costs of construction but also, among other things, to improve the living conditions of people in the urban housing environment. There has been an unprecedented progress in tools and techniques to assist the architect in his work. Design aid software allows for optimization of energy efficiency parameters and improvement of the implementation process on a scale not previously possible. On the threshold of the third decade, we may expect further dynamic development as regards automation of the design process and gradual reduction of the draftsman's role in the process. As far as the role of the architect is concerned, we may expect an increase in the supporting role of artificial intelligence (AI) and its gradual replacement in the process of searching

go w procesie poszukiwania rozwiązań formalnych i funkcjonalnych. Na podstawie wzorców przeanalizowanych przez uczenie maszynowe (*machine learning* – ML)<sup>1</sup> zwane też uczeniem głębokim (*deep learning*) możliwe jest obecnie generowanie obrazów, utworów muzycznych i literackich przez urządzenia cyfrowe. Należy zatem postawić pytanie, czy w przyszłości uczenie maszynowe będzie również próbowało generować gotowe rozwiązania w dyscyplinie architektury?

Rozważanie możliwych kierunków rozwoju narzędzi wspomagających projektowanie jest szczególnie istotne w kontekście zapewnienia humanizujących warunków funkcjonalno-przestrzennych i architektoniczno-urbanistycznych w architekturze mieszkaniowej. Przy obecnym rozwoju technologii możliwe jest to do osiągnięcia wyłącznie ręką i umysłem człowieka. Kreacja architektury ujmowana jako kształtowanie przestrzeni życia człowieka wymaga projektowania jego doznań. W ujęciu psychologii percepcji<sup>2</sup> poznanie formy możliwe jest drogą bodźców wzrokowych podczas poruszania się w przestrzeni. Zatem proces projektowy oparty jest na przewidywaniu wrażeń użytkownika, jego zachowania i reakcji na bodźce. Na podstawie tego przewidywania następuje proces dopasowania kształtowanej przestrzeni do potrzeb percepcyjnych i użytkowych osób korzystających z zaprojektowanego obiektu.

W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie możliwości cyfrowego wspomaganie projektowania. Rezultat wykorzystania narzędzi cyfrowych w procesie projektowym analizowano w odniesieniu do wiedzy z zakresu percepcji wzrokowej w architekturze. Studia tego tematu przeprowadzono metodą analityczną jakościową oraz metodą badań bibliograficznych. Do analizy projektów i ich szerokiego kontekstu zastosowany został aparat pojęciowy zapożyczony z psychologii postaci w architekturze. Pozwala on wskazać podobieństwa i różnice w projektowaniu opartym na decyzji projektanta, parametrycznym i generowanym przez sztuczną inteligencję. W tekście przedstawiono studium przypadków – do analizy wybrano cyfrowe projekty Immanuela Koha<sup>3</sup> z 2019 i 2021 r.

## STAN BADAŃ

Badanie systemów posiadających ludzkie zdolności poznawcze, tj. zdolnych do rozumienia, działania, mówienia i myślenia oraz uczenia się jak ludzie, nie jest nowością. Przez dziesiątki lat sztuczna inteligencja próbowała tworzyć takie systemy, przy czym często były one ograniczone przez zasoby obliczeniowe lub bazę wiedzy, z której korzystały. Od lat 90. XX wieku wdrażano ich zastosowanie w zakresie projektowania parametrycznego (Han, Kotnik, 2020; Mallgrave, Goodman, 2011; Schumacher, 2009). Systemy oparte na sztucznej inteligencji nie były tak udane jak wprowadzone kilkadziesiąt lat później systemy uczenia maszynowego, które osiągały wydajność na poziomie ludzkim lub nawet ją przewyższały w coraz większej liczbie złożonych zadań. Potencjalne zastosowanie uczenia maszynowego w architekturze jest opisane w artykułach przeglądowych (Cudzik, Radziszewski i in.), (Belém, Santos, 2019; Tamke, Nicholas i in., 2018) i analizowane w zakresie potencjału edukacyjnego (Khean, Fabbri, 2018). Od

for formal and functional solutions. Based on the patterns analyzed by machine learning (ML)<sup>1</sup> it is now possible for digital devices to generate images, musical, and literary works. It is therefore important to ask the question whether in the future machine learning will also attempt to generate ready-made solutions to the discipline of architecture?

Consideration of possible directions of development of design support tools is particularly important in the context of providing humanizing functional-spatial and architectural-urban conditions in residential architecture. With the current development of technology, it is possible to achieve this only with the hand and mind of man. The creation of architecture that is seen as shaping the space of human life requires the design of human experience. According to the psychology of perception<sup>2</sup>, cognition of form is possible through visual stimuli while moving in space. Therefore, the design process is based on the anticipation of user impressions, behavior, and reactions to stimuli. On the basis of this prediction, the process of adjusting the shaped space to the perceptual and functional needs of people using the designed object takes place.

The article presents the current state of knowledge in the field of digital design support capabilities. The result of using digital tools in the design process was analyzed in relation to the knowledge of visual perception in architecture. The study of this topic was carried out using a qualitative analytical method and a bibliographic research method. A conceptual apparatus borrowed from the psychology of characters in architecture was used to analyze the projects and their broad context. It allows indicating the similarities and differences in design based on the designer's decision, parametric, and generated by artificial intelligence on the basis of the resulting figuration. The text presents a case study – Immanuel Koh's<sup>3</sup> 2019 and 2021 digital projects were selected for analysis.

## RELATED WORK

Systems that can understand, act, speak, think, and learn like people are being studied for a long time. Artificial intelligence (AI) has been making attempts to develop such systems for decades, but they are frequently constrained by the computer power or database they rely on. Since the 1990s, their use has been implemented in the field of parametric design (Han, Kotnik, 2020; Mallgrave, Goodman, 2011; Schumacher, 2009). Machine learning (ML) systems, which were developed decades later and achieved human-level performance or even surpassed it in an expanding number of complicated tasks, were more successful than artificial intelligence-based systems. The potential application of machine learning in architecture is described in review articles (Cudzik, Radziszewski et al.), (Belém, Santos, 2019; Tamke, Nicholas et al., 2018; Tamke, Nicholas et al., 2018) and analyzed in terms of educational potential (Khean, Fabbri, 2018). Since 2010, attempts to implement ML tools for solving detailed design problems have been observed (Merrell, Schkufza et al., 2010; Racec,

2010 r. obserwuje się próby wdrażania narzędzi ML w zakresie rozwiązywania szczegółowych problemów projektowych (Merrell, Schkufza i in., 2010; Racec, Budulan i in., 2016). Dotychczas w literaturze nie przeprowadzono szczegółowej analizy narzędzi cyfrowych, zarówno AI jak i ML, służących wspomaganie projektowania w kontekście aspektu postrzeniowego odbiorcy.

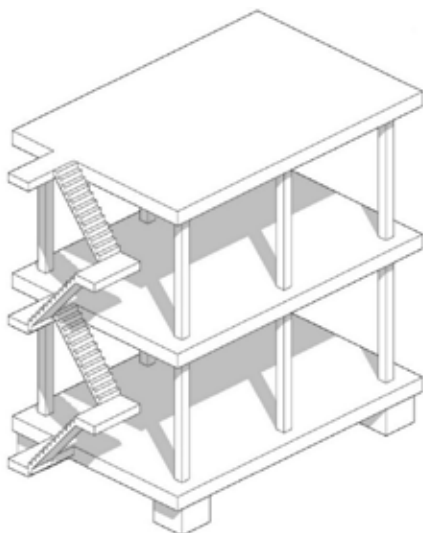
### FIGURACJA OPARTA NA DECYZJI PROJEKTANTA

Dla próby uchwycenia figuracji (wyłaniania się figur w polu wzrokowym obserwatora) w projektowaniu architektonicznym podstawowy jest koncept figury i tła. Pod względem figuracji rozróżnia się klasyczne (przestrzeń ograniczona formą) i modernistyczne (forma na tle przepływającej przestrzeni) kształtowanie kompozycji w architekturze. Koncept form na tle przepływającej przestrzeni znakomicie obrazują projekty modernistów, na przykład prototypowa koncepcja domu Dom-ino Le Corbusiera (il. 1). Przykład stanowić może również pawilon zbudowany na wystawę światową w Barcelonie w 1929 roku, zaprojektowany przez Ludwiga Miesa van der Rohe. Choć nie pełnił funkcji mieszkalnej, stał się prototypem dla projektów domów tego architekta, jak również współczesnych realizacji architektury mieszkaniowej (il. 2). Te dwa projekty są punktem wyjścia dla rozważań wielu architektów i teoretyków.

Pojęcia figury i tła zastąpione zostały od lat 90. XX w. konceptami „obiekty” i „pola”. Projektanci korzystający z narzędzi cyfrowych do generowania formy architektonicznej zaobserwowali, że złożone projekty są niemożliwe do zdefiniowania za pomocą figury i tła. „Pole” charakteryzuje się zmiennością następującą w sposób ciągły, nawiązuje do koncepcji pola zapożyczoną z fizyki, w szczególności odnoszącej się do pola elektromagnetycznego. Traktuje się je również jako nawiązanie do koncepcji tła wywodzącej się z psychologii postaci (Schumacher, 2009). Dyskursy w dziedzinie architektury skupione są wokół kreacji przestrzeni architektonicznej, której reprezentacją jest „pole cyfrowe” zaproponowane w 1987 r. przez Stana Allena w artykule zatytułowanym *Od obiektu do Pola* (Allen, 1987).

Il. 1. Schemat domu w układzie Dom-ino autorstwa Le Corbusiera, źródło: opracowanie własne

III. 1. Scheme of a house in Dom-ino layout by Le Corbusier, source: own elaboration



Budulan et al., 2016). So far, no detailed analysis of digital tools (AI and ML) for design support has been performed in the literature in the context of the perceptual aspect of the viewer.

### DESIGN-BASED FIGURATION

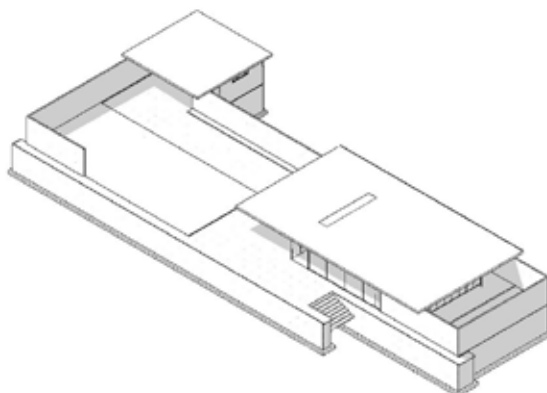
For the attempt to capture figuration (the emergence of figures in the visual field of the observer) in architectural design, the concept of figure and background is fundamental. A distinction is made between classical (space bounded by form) and modernist (form against a background of flowing space) compositional design in architecture. The concept of forms against the flowing space is excellently illustrated by the projects of the modernists, for example, the prototypical house concept Dom-ino by Le Corbusier (Ill. 1). Also, the pavilion of the World Exhibition in Barcelona in 1929, designed by Ludwig Mies van der Rohe. Although it did not have a residential function, it became a prototype for the designs of houses by this architect as well as for contemporary realizations of residential architecture (Ill. 2). These two projects are the starting point for consideration by many architects and theorists.

During the 1990s the concepts of “object” and “field” have gradually been replaced by “figure” and “ground”, and classical compositions have evolved along with the spread of digital tools to generate the architectural form used by designers. “Field” is characterized by variability occurring continuously, and refers to the concept of field borrowed from physics, specifically referring to the electromagnetic field. It is also treated as a reference to the concept of ground derived from gestalt psychology (Schumacher, 2009).

Discourses have thus focused on creating architectural space, represented by the “digital field” proposed in 1987 by Stan Allen in his article “From Object to Field” (Allen, 1987). In the work, Stan Allen indirectly predicted the gradual disappearance of geometric objects and their replacement by “field conditions.” He proposed a field-to-field relation,

Il.2. Schemat pawilonu w Barcelonie autorstwa Miesa van der Rohe, źródło: opracowanie własne

III. 2. Schematic of the pavilion in Barcelona by Mies van der Rohe, source: own elaboration



Stan Allen przewidywał stopniowy zanik obiektów geometrycznych i zastąpienie ich „warunkami pola” opartymi na zależnościach algebraicznych. Allen zaproponował relację pole-do-pola, skupiając uwagę na bezpośrednich relacjach pomiędzy obiektami (Allen, 1987). Odszedł tym samym od tradycyjnego podziału na „figurę na tle” czy modernistycznej „figury przeciw figurze” (Schumacher, 2009). Allen poszukiwał natomiast parametrów otaczających architekturę, odmiennych od abstrakcyjnego pojęcia pustego tła.<sup>4</sup>

Aby zobrazować pole Allen porównał je do poruszających się tłumów ludzi. Grupy przechodniów stwarzają tymczasowe architektoniczne pola. Ich fluktuacje są dla Allena bardziej istotne niż kształt przestrzeni, w której się znajdują. Architekt przewidywał, że aparat pojęciowy opisujący dynamiczny porządek i formowanie tych tłumów zastąpi pojęcie przestrzeni w architekturze. Podobnie jak grupy ludzi, chciał widzieć „roje budynków”, poruszających się poprzez krajobraz (Schumacher, 2009). Publikacja z 1993 roku zatytułowana *Folding Architecture* (Lynn, 1993) zredagowana przez Grega Lynna wyznaczyła dalszy zwrot w rozumieniu konceptu przestrzeni. W wyniku tego zwrotu pojawiła się awangarda, która określona została jako „wcielenie technologii cyfrowych” (Mallgrave, Goodman, 2011). Jak wskazuje Mario Carpo, publikacja ta była katalizatorem dla fali zmian spowodowanych przez pojawianie się nowego konceptu „pola cyfrowego” w architekturze (Carpo, 2017). W dyskursie architektonicznym lat 90. XX w. obserwuje się odejście od modernistycznego rozumienia pojęcia przestrzeni przepływającej w kierunku pojęcia formy. Tylko kilka lat po publikacji *Folding in Architecture* spopularyzowano pojęcie „ożywionej formy” i kształtujących ją sił przedstawione w późniejszej publikacji *Animated Form* (Lynn, Kelly, 1999).

### FIGURACJA OPARTA NA PARAMETRACH

Publikacje Stana Allena i Grega Lynna miały wpływ na tendencję rozwijania praktyki architektonicznej skupionej na generowaniu formy w wyniku optymalizacji projektowania cyfrowego (Han, Kotnik, 2020). Formy miały w mniejszym stopniu być oparte na kontroli autorskiej, zamiast tego ich generowanie odbywało się na podstawie algorytmów i modeli cyfrowych. Algorytmy te wpływać miały na zmiany formy i były tylko częściowo kontrolowane przez architekta. Współczesną architekturę tworzoną w ten sposób określa się jako „parametryczną” albo „algorytmiczną”. W tym podejściu możliwe jest generowanie i dynamiczne modyfikowanie adaptacyjnej cyfrowej makiety systemu konstrukcyjnego czy struktury powierzchni. Z punktu widzenia praktyki ta technika ma bezpośrednie zastosowanie do tworzenia i zarządzania skomplikowanymi projektami. Wzajemne powiązania systemów i materiałów mogą być dynamicznie i płynnie aktualizowane w trzech wymiarach podczas procesu projektowego, co pozwala na znacznie lepszą kontrolę projektanta nad całym systemem (Mallgrave, Goodman, 2011).

Jednym z czołowych przedstawicieli projektowania parametrycznego jest Patrik Schumacher. Do opisu nowej metody kształtowania przestrzeni w układach miejskich nazwanej „figuracją parametryczną” architekt ten posługiwał się w swoich publikacjach z zakresu teorii architektury pojęciami figury i tła. Termin „figuracja

focusing on the direct relationships between the objects. Thus, he departed from the traditional division into “figure on ground” or modernist “figure against figure” (Schumacher, 2009). Allen sought parameters surrounding the architecture that were distinct from the abstract concept of an empty ground.<sup>4</sup>

Dense, moving crowds of people constitute an example that directly engages with architecture, literally creating temporary architectural fields that are arguably more significant to the event in question than the shape of the framing space. Movement within architecture and its influence through observation, associated with the definition of space in architecture, have, therefore, gained a new meaning by introducing the “field” concept. Like groups of people, he wanted to see “swarms of buildings” moving through the landscape (Schumacher, 2009).

The 1993 publication “Folding Architecture,” edited by Greg Lynn, marked the turn in understanding the concept of space. In the then design practice, the architectural avant-garde lay in using the new possibilities of digital technologies. Lynn’s work is seminal in that it was a catalyst for the wave of changes caused by the emerging new field of digital architecture (Mallgrave, Goodman, 2011). One of these changes within architectural discourse was a shift away from the notion of space towards the notion of form. Within a few years after the publication of “Folding in Architecture”, the notion of space became neutralized and was replaced by the notion of vitalized form and its shaping forces. This was posited in his subsequent publication “Animate Form” (Lynn, Kelly, 1999).

### PARAMETER-BASED FIGURATION

The publications of Stan Allen and Greg Lynn influenced the trend of developing an architectural practice focused on form generation as a result of digital design optimization (Han, Kotnik, 2020). Forms were to rely less on authorial control, instead being generated from algorithms and digital models. These algorithms were to influence changes in form and were only partially controlled by the architect. Architects have focused on searching for complex forms generated in the configuration of algorithm-based digital models. Such created architecture is referred to as “parametric” or “algorithmic.” In this approach, it is possible to generate and dynamically modify an adaptive digital mock-up of a structural system or surface structure. From a practical point of view, this technique is directly applicable to the creation and management of complex designs. Its advantage is that the interconnection of systems and materials can be dynamically and smoothly updated in three dimensions during the design process which allows for much better designer control over the entire system (Mallgrave, Goodman, 2011).

One of the leading exponents of parametric design is Patrik Schumacher. In his publications, Schumacher, a member of Zaha Hadid Architects, used the terms “figure” and “ground” to describe a new method of shaping space in urban systems called “parametric

parametryczna” odnosił się do zjawiska percepcyjnego, w którym „figury doraźnie krystalizują się z ciągłych właściwości pola i pozostają osadzone w zakresie manipulacji parametrycznych, przy uwzględnieniu zmiany pozycji obserwatora” (Schumacher, 2009). W kształtowaniu architektury najnowszej proponował on zastąpienie podziału na elementy figurę i tło, pojęciem pola. Zamiast figur skontrastowanych z neutralnym tłem, pojęcie pola pozwalać miało na tworzenie form o jednostkowym charakterze (Schumacher, 2009).

Projektowanie parametryczne wprowadzało ontologię porzucającą klasyczne i modernistyczne kompozycje oparte na sztywnej formie geometrycznej i zakładało zastąpienie jej światem plastycznych, adaptacyjnych obiektów. Forma sąsiadujących obiektów miała być wzajemnie powiązana i kształtowana przez zróżnicowane systemy, które z kolei były połączone ze sobą przez skrypty komputerowe. Każdy system był transkodowaną reprezentacją innego, współistniejącego systemu i stawał się zbiorem danych dla dalszych skorelowanych systemów i podsystemów (Schumacher, 2009).

Ta metoda projektowania stanowi w teorii odejście od założenia, że oko ludzkie w środowisku zbudowanym porządkować będzie struktury na formy i tło. W rezultacie zabiegów formalnych „figuracji parametrycznej” obserwator dostrzegał plany, lecz nie mógł jednoznacznie zdefiniować formy opartej na statyce brył geometrycznych. W zamian za to projektanci dążyli do osiągnięcia efektu postrzegania przez obserwatora ciągłego ruchu i zmienności, pomimo że budynki faktycznie nie poruszają się. To dlatego, że kluczem do wyobrażenia pola jest spłaszczenie ontologicznej różnicy pomiędzy figurą/obiektom na pierwszym planie i tłem na dalszych planach (Schumacher, 2009).

### **FIGURACJA GENEROWANA PRZEZ SZTUCZNA INTELIGENCJĘ**

W dwudziestym pierwszym wieku analogowe ludzkie oko postrzegające w sposób ciągły zostało przeciwstawione „wyodrębnionemu cyfrowemu widzeniu” leżącemu u podłoża dzisiejszego uczenia maszynowego i głębokiej nauki w sztucznej inteligencji (Koh, 2019, s. 105). W koncepcji tej uczenie maszynowe widziane jest jako przyszłość w dziedzinie cyfrowego wspomaganie projektowania. Głębokie sieci neuronowe są szkolone na podstawie dużych zestawów danych (mogą być to dane z obrazów) i potrafią wykrywać i dostrzegać różne rodzaje wzorców. Nie znaczy to jednak, że na tym etapie rozwoju technologii możliwe jest odwzorowanie ludzkiego procesu porządkowania struktur w polu wzrokowym. Jeśli zestawy szkoleniowe przeznaczone dla sztucznej inteligencji złożone są z obrazów, to są dla maszyny „wyodrębnionymi polami” (*discrete fields*) składającymi się z liczb bez ontologicznego rozróżnienia obiektów na pierwszym planie i ich tła.<sup>5</sup> Tym samym niemożliwe jest stworzenie kryteriów figuracji opartych na pojęciach figury i tła oraz obiektu i pola, jakie znamy z psychologii postaci.

Gdyby to maszyna wykonująca procesy głębokiej nauki znalazła się na miejscu projektanta, oznaczałoby to zmianę zastosowania narzędzi cyfrowych w architekturze, jakie znamy dotychczas. Z punktu widzenia figuracji

figuracji” (Schumacher, 2009). The term refers to a perceptual phenomenon in which “figures tentatively crystallize from the continuous field conditions they remain embedded within, by parametric manipulations, including the shifting of observer positions (observer parameters) (Schumacher, 2009). In shaping recent architecture, he proposed replacing the division between figure and background elements with the concept of field. Instead of figures contrasted with a neutral background, the concept of field was to allow for the creation of forms with a singular character (Schumacher, 2009).

Parametricism proposes an ontology that abandons the Classical/Modernist compositions of inert, rigid geometric figures and puts in their stead a world of malleable, adaptive elements (radicals) that engage with each other to form differentiated systems. These, in turn, are associated with each other through scripted dependencies. Therefore, each system is a transcoded ‘representation’ of another co-present system and itself becomes the data set for further correlated systems/subsystems (Schumacher, 2009).

This method of design represents, in theory, a shift away from the assumption that the human eye will organize structures into forms and backgrounds in the built environment. As a result of the formal treatments of “parametric figuration,” the observer perceived plans but could not clearly define form based on the static nature of geometric solids. Instead, the designers sought to achieve the effect of the observer’s perception of constant movement and variation, despite the fact that the buildings do not actually move. This is because the key to imagining the field is to flatten the ontological distinction between the figure/object in the foreground and the background in the background further away (Schumacher, 2009).

### **FIGURE GENERATED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

In the twenty-first century, the analog human eye perceiving continuously was contrasted with the “extracted digital vision” underlying today’s machine learning and deep learning in artificial intelligence (Koh, 2019, p. 105). In this concept, machine learning is seen as the future of digital design assistance. Deep neural network training based on large image data sets can learn to detect and perceive the characteristics of various types of objects, including architectural. However, this does not mean that at this stage of technology development, it is possible to replicate the human process of ordering structures in the visual field. The training sets consisting of images used in the project are called “discrete fields”<sup>5</sup>. Thus, it is impossible to create criteria for figuration based on the concepts of figure and ground and object and field that we know from gestalt psychology. If it were a machine performing deep learning processes in the place of the designer, it would mark a shift in the application of digital tools to architecture

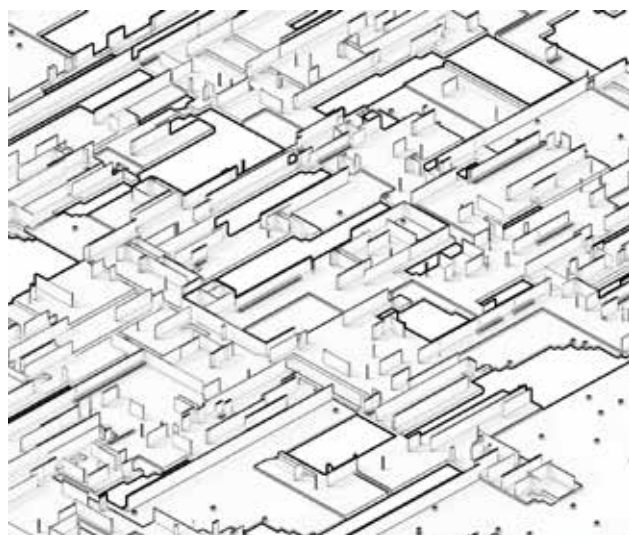
nastąpiłoby przejście od przestrzeni (pola) wyobrażonego jako nieograniczone i obiektów w jego obrębie do kształtowania wyodrębnionych próbek (*discrete samples*) (Koh, 2019, s. 105). Projekt formowany byłby jako zlepione ze sobą fragmenty wzorca, który zaobserwowała maszyna. Tym samym gdyby sztuczna inteligencja dostała zadanie stworzenia projektu architektonicznego, kryteria kształtowania formy architektonicznej zmieniłyby się całkowicie. Cykl projektów opracowanych przy École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) w Szwajcarii rzuca światło na to, co rzeczywiście może stanowić zastosowanie głębokich sieci neuronowych w architekturze. Poddając badaniu cyfrowe rozróżnienie pomiędzy figurą a tłem, Immanuel Koh podjął próbę cyfrowego rozłożenia na czynnik figury i tła ikonicznych projektów architektonicznych, między innymi, barcelońskiego pawilonu projektu Mies van der Rohe z 1929 roku. Z obiektu wyodrębnił komórki złożone z figury i tła. Ich przetworzenie przez głęboką sieć neuronową prowadziło w badaniach Koha do nowych konfiguracji o podobnych cechach przestrzennych do projektu, z których czerpane były dane wyjściowe (Koh, 2019, s. 102-109).

Projekt zatytułowany „Discrete-Mies” z 2018 roku skupiony był wokół badań konsekwencji projektowych, będących źródłem takiego odejścia od podziału na figurę i tło, zamiast tego badacz proponował „wyodrębnione pola”. Pawilon barceloński był zdekomponowany na wyodrębnione przestrzenne komórki zawierające w równej części figury i część tła. Samouczący się model cyfrowy traktował te komórki jako dane wyjściowe i uczył się ich statystycznej struktury w różnej skali przestrzennej. Na podstawie dynamicznego próbkowania wyodrębnionego rozkładu prawdopodobieństwa wykonanego przez uczenie maszynowe, system wytwarzał nowe konfiguracje, powodując urozmaicenia cech przestrzennych oryginału (il. 3) (Koh, 2019, s. 102-109).

Kontynuując badania, Immanuel Koh zaprojektował

Il. 3. Konfiguracje przestrzenne utworzone na podstawie pawilonu w Barcelonie przez sztuczną inteligencję, źródło: opracowanie własne na podstawie Koh, 2019, s. 102

Ill. 3. Spatial configurations created from the Barcelona pavilion by artificial intelligence, source: own elaboration based on Koh, 2019, p. 102

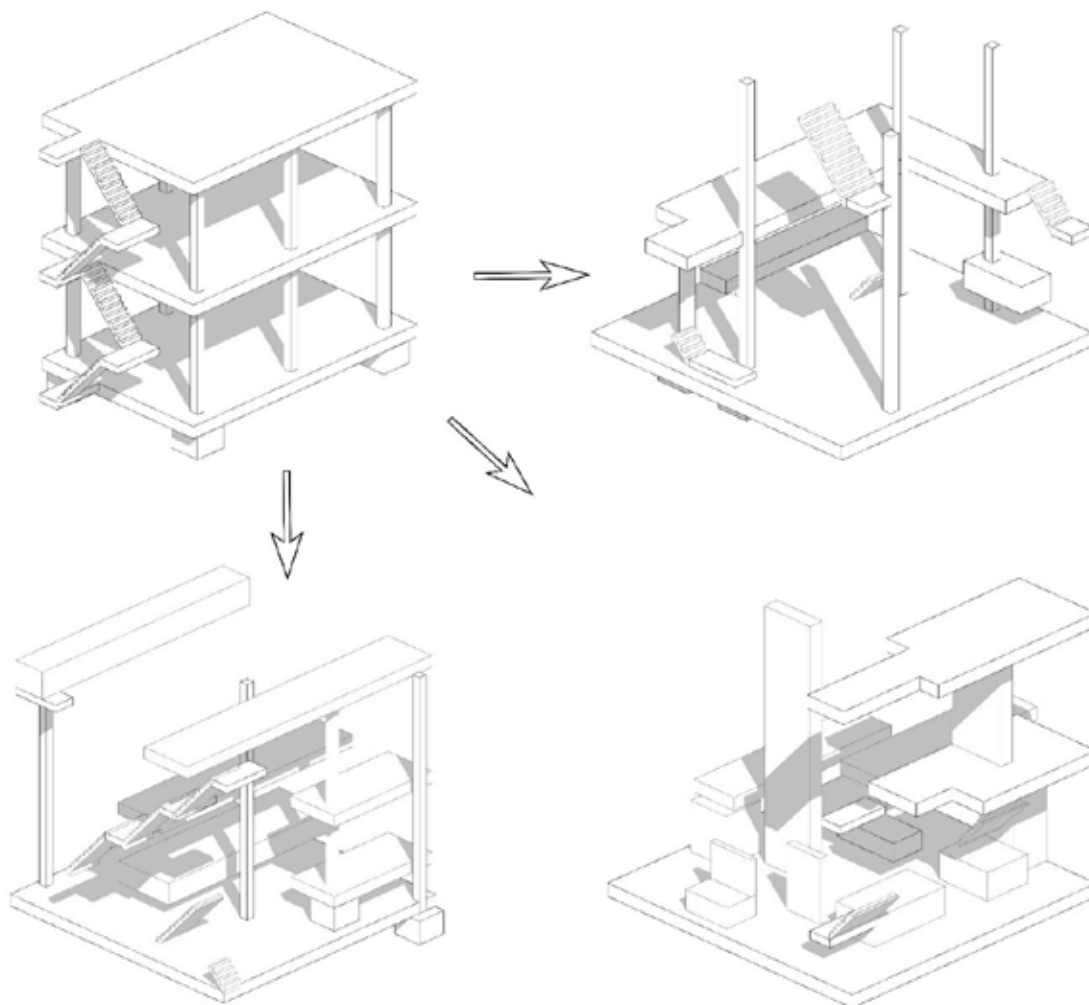


as we know it to date. From a figuration perspective, there would be a shift from a space (field) imagined as unbounded and objects within it to the formation of discrete samples (Koh, 2019, p. 105). The design would be formed as patched fragments of the pattern observed by the machine. Thus, if an artificial intelligence were given the task of creating an architectural design, the criteria for shaping architectural form would change completely.

A series of recent design projects developed at the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) in Switzerland shed light on what might indeed constitute the application of deep neural learning in architecture. By exploring the digital distinction between figure and ground, Immanuel Koh has attempted to digitally decompose iconic architectural projects into a figure and background factor. Among them, the Barcelona pavilion of Mies van der Rohe's design from 1929. From the object he extracted cells composed of a figure and a ground. Their processing by a deep neural network led in Koh's research to new configurations with similar spatial features to the design from which the output was drawn (Koh, 2019, pp. 102-109).

For human perception, the images that form the training base are models of visual stimuli subject to Gestalt principles. The analogous human eye perceives continuously and combines the patterns into interrelated structures. However, artificial intelligence does not distinguish between foreground and background objects. The “digital vision” sees and analyzes individual portions of information. In the process of their digital analysis, the ontological difference between the figure/object in the foreground and the ground/field in the background is flattened (Koh, 2019, pp. 102-109). Immanuel Koh attempted to deconstruct the “figure” and “ground” components of selected architectural designs digitally, including the 1929 Mies van der Rohe's Barcelona pavilion. This pavilion is the essence of a free modernist composition called the ‘open plan,’ creating a figure against the ground (figure-on-figure) that hangs together in space. The 2018 project “Discrete-Mies” focused on researching the design consequences, which is the source of eliminating the division into “figure” and “ground.” The pavilion is decomposed into uniformly sized discrete volumetric cells, each containing part-figures and part-grounds. A self-supervised learning model takes these cells as input and learns their statistical structure at various spatial scales. A deep neural network processes them, theoretically leading to new configurations with spatial characteristics similar to the initial design with the output data. By dynamically sampling the learned discrete probability distribution of this trained machine learning model, the system infers new configurations while retaining varying degrees of the original learned spatial features (Ill. 3) (Koh, 2019, s. 102-109).

Continuing his research, Immanuel Koh designed an algorithm using machine learning to generate more



II. 4. Konfiguracje przestrzenne utworzone na podstawie schematu Dom-Ino przez sztuczną inteligencję, źródło: opracowanie własne na podstawie Koh 2022, s. 297

III. 4. Spatial configurations created from the Dom-Ino scheme by artificial intelligence, source: own elaboration based on Koh 2022, p. 297

algorytm wykorzystujący uczenie maszynowe do generowania bardziej złożonych wzorców przestrzennych. Elementy charakterystyczne i ich połączenia, wyodrębnione z przykładowych projektów posłużyły do wygenerowania różnych wariantów pochodnych od projektu wzorcowego. Następnie, jako model Koh wziął schemat Dom-Ino (il. 4). Wnioski z jego badań były następujące: algorytm był w stanie odwzorować kluczowe cechy schematu Dom-Ino, czyli otwarty plan, wolna fasada, statykę układu słupów nośnych i logikę układu schodów ze spocznikami. W rezultacie powstały abstrakcyjne wariacje domu wygenerowane bez udziału projektanta (Koh 2022a, 297-316).

## WYNIKI I OMÓWIENIE

Stopień udziału architekta w procesie projektowania zależy od zastosowanych narzędzi cyfrowych. Wyróżnić można trzy zakresy:

1. Projektowanie w oparciu o jednostkowe decyzje projektanta;
2. Projektowanie w oparciu o założone przez projektanta parametry;
3. Projektowanie bez bezpośredniego udziału projektanta, oparte na mechanizmach głębokiego uczenia (na podstawie rozbudowanej bazy danych).

W obecnej praktyce projektowej decyzje podejmowane przez architekta na każdym etapie cyklu życia budynku

complex spatial patterns. Characteristic elements and their combinations extracted from sample designs were used to generate different variants derived from the model design. Next, Koh took the Dom-Ino scheme as a model (III. 4). The conclusion of his research was that the algorithm was able to reproduce the key features of the Dom-ino scheme i.e. the open plan, the free facade, the statics of the supporting column system and the logic of the staircase system with treads. This resulted in abstract variations of the house generated without designer input (Koh, 2022a, 297-316).

## RESULTS AND DISCUSSION

The degree of participation of the architect in the design process depends on the tools used. Three scopes can be distinguished:

1. Design based on the designer's individual decisions;
2. Design based on the designer's established parameters;
3. Design without direct participation of the designer based on deep learning mechanisms on the basis of an extensive database.

In current design practice, decisions made by the

zapadają w oparciu o narzędzia cyfrowe. Pozwalają one na weryfikację i optymalizację projektu zgodnie ze zdefiniowanymi przez człowieka kryteriami. Programy do wspomagania projektowania oparte są w coraz większym stopniu na projektowaniu parametrycznym, choć nie jest ono pojęte tak skrajnie jak widział to Patrik Schumacher w swojej wizji parametrycyzmu. Uwzględnienie parametrów odnoszących się do każdego elementu projektowanego budynku pozwala na łatwą modyfikację, weryfikację, obliczenia i szybką komunikację wszystkich uczestników procesu. Parametrycyzm definiowany jako całkowite przekazanie komputerowi kontroli nad wszelkimi aspektami projektu, o ile architekt wcześniej precyzyjnie je zdefiniuje, pozostaje w sferze wizji teoretycznych. Parametrów opartych na percepcji wzrokowej przyszłego użytkownika, które narzędzia cyfrowe skutecznie zastępują w projekcie, dotychczas nie udało się zdefiniować. Projektowanie z zastosowaniem uczenia maszynowego efektywnie potrafi odwzorowywać wrażenia wzrokowe definiowane przez psychologię widzenia. Jednak koordynacja decyzji projektowych z wymogami strukturalnymi, funkcjonalnymi i prawnymi pozostaje dotychczas nieosiągalna dla ML ze względu na obecny rozwój technologii.

## WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Zastąpienie systemów opartych na psychologii widzenia powstających w kreatywnej wizji projektantów przez systemy generowane za pomocą modelowania parametrycznego lub statystyczne modele powstające z wykorzystaniem uczenia maszynowego prowadziłoby do istotnych zmian w charakterze środowiska mieszkaniowego. Jednak rozpowszechnienie wspomagania projektowania za pomocą komputera nie wpłynęło na szeroką skalę na ogólną zmianę charakteru pracy twórczej projektantów pod względem figuracji. „Pole cyfrowe” zapowiadane w latach 90. XX w. jako prawdopodobny kierunek projektowania przyszłości nie zmieniło fundamentalnie środowiska mieszkaniowego, miało wpływ głównie na formę architektoniczną oraz proces cyfrowego wspomagania projektowania. Natomiast pod względem sposobów kreacji warunków postrzegania architektury przez obserwatora zagadnienie figuracji nie uległo istotnej zmianie. Dopiero znaczące zmniejszenie udziału architekta w procesie projektowym na rzecz zautomatyzowanych procesów opartych na uczeniu maszynowym mogłoby przynieść zauważalne przeobrażenie środowiska miejskiego.

W przyszłości uczenie maszynowe może zastąpić architekta w projektowaniu środowiska mieszkaniowego człowieka. Mechanizmy ML wdrożone do tej pory w innych dyscyplinach, takich jak medycyna, finanse czy fizyka, okazują się nieocenione dla specjalistów. Dla projektanta potencjał ML może tkwić w pomocy w podejmowaniu decyzji projektowych.

Rozmieszczenie obiektów w przestrzeni, oparte na jej budowaniu w odpowiedzi na złożone procesy percepcyjne, jest jednym z fundamentów zawodu architekta. Wpływ architektury na zdolności poznawcze człowieka jest obecnie przedmiotem interdyscyplinarnych badań nad uwarunkowaniami ludzkiej percepcji, łączących psychologię, neurobiologię i ergonomię. Dopóki jednak związek między wielowymiarowymi aspektami dzieła architektonicznego a neurologicznymi i psychologicznymi

architect at every stage of the building life cycle are based on digital tools. They allow the design to be verified and optimized according to human-defined criteria. Design assistance programs are increasingly based on parametric design, although it is not conceptualized as extremely as Patrik Schumacher saw it in his vision of parametricism. The inclusion of parameters relating to each element of the designed building allows for easy modification, verification, calculations and rapid communication of all participants in the process. Parametricism, defined as the complete transfer of control over all aspects of a project to the computer as long as the architect defines them precisely beforehand, remains in the realm of theoretical visions. Parameters based on the visual perception of the future user that digital tools will effectively apply to the design have not yet been defined. Design using machine learning can effectively map visual impressions as defined by the psychology of vision. However, coordinating design decisions with structural, functional and legal requirements remains so far unattainable due to current technological developments.

## CONCLUSIONS AND SUMMARY

Superseding current explicit rule-based systems in architecture by more generic and implicit pattern-inference-based statistical machine learning models or a parametric design would considerably change the built environment. Nonetheless, the dissemination of computer-aided design has not yet affected the general nature of architects' creative work. As for design support tools, the architectural form creation has been transformed by the "digital field" envisaged in the 1990s as a new architectural design concept. However, in terms of encouraging observer-perceived architecture conditions, the issue of figuration has not changed significantly in the long term. Only a significant reduction of the architect's participation in the design process in favor of automated large-scale digital processes could bring about the human living space transformation that is noticeable to the observer.

Machine learning can be considered a process that replaces the architect's role in designing a human living space. The ML mechanisms implemented to date in other disciplines such as medicine, finance, and physics prove to be invaluable to specialists. For a designer, the ML potential can lie in helping to make project decisions.

The arrangement of objects in space, based on the consciously shaped environment built by the designer in response to the complex perception processes of its recipient, is one of the foundations of the architecture profession. Architectural impact on human cognitive abilities is currently considered in interdisciplinary research on human perception conditions that combine psychology, neurobiology, and ergonomics. However, until the relationship between the multidimensional aspects of the architectural work and the neurological and psychological



reakcjami obserwatora nie zostanie skodyfikowany w postaci danych możliwych do przetworzenia przez ML, dopóty architekta nie da się zastąpić w procesie figuracji.

reactions of the observer is codified in the form of ML data, the architect is impossible to replace in the figuration process.

#### PRZYPISY / ENDNOTES

<sup>1</sup> ML opiera się na statystyce obliczeniowej i procedurach optymalizacyjnych oraz wykorzystuje techniki samodoskonalącego się uczenia do rozwiązywania problemów lub wykonywania określonych zadań. Na podstawie danych treningowych ML spontanicznie poprawia wydajność swoich zadań bez interwencji człowieka. Obecnie do zastosowań ML w dziedzinie architektury należą m.in. optymalizacja strategii sterowania pracą systemów budowlanych, generowanie modeli zastępczych do optymalizacji projektów, rozplanowywanie powtarzalnych modułów na rzutach kondygnacji, modelowanie konstrukcji (Belém i in., 2019).

<sup>2</sup> Zasady rządzące reakcją zmysłową odbiorcy architektury i sposób porządkowania bodźców w struktury zglębiał w odniesieniu do architektury już 1973 roku Juliusz Żórawski. Wykazał on związek formy w architekturze z dwuwymiarowymi obrazami w Psychologii Postaci, stosując teorie zawarte w „La psychologie de la forme” (Guillaume, 1937) do rozważań architektonicznych w dziele „O budowie formy architektonicznej” (Żórawski, 1973).

<sup>3</sup> Immanuel Koh pracuje jako adiunkt na Singapurskim Uniwersytecie Technologii i Projektowania na wydziałach projektowania i sztucznej inteligencji (DAI) oraz architektury i zrównoważonego projektowania (ASD) (SUTD).

<sup>4</sup> Zapożyczył on koncept „warunków pola” z nauk fizycznych, w których używane jest ono do opisu złożonych, zmiennych i dynamicznych sił widocznych tylko poprzez skutki ich oddziaływania. „Warunki pola” Allen opisuje następująco: „a field condition could be any formal or spatial matrix capable of unifying diverse elements while respecting the identity of each. Field configurations are loosely bound aggregates characterized by porosity and local interconnectivity ... Form matters, but not so much the forms of things but the forms between things” (Allen, 1987). Aby wyjaśnić „warunki pola” Allen posługiwał się schematami, w których poszczególne obrazy mają wyraźne zbieżności, formując rodzaj wzoru figur na tle. Na tym obrazie figury i tło zdają się uzupełniać, pozostają w równowadze względem siebie. Krawędź wzoru rozpoznawana jest poprzez otaczające warunki pola, granice wyznaczone są przez pojawienie się wzoru nie zaś poprzez występowanie jego konturu. Dla Allena to zależności pomiędzy obiektami, a nie same w sobie obiekty, które definiują warunki pola (Baudoin, 2015).

<sup>5</sup> Vivian Sobotchak określa następująco odczytywanie takich obrazów cyfrowych: “discrete pixels and bits of information that are transmitted serially, each bit discontinuous and absolute – each bit ‘being in itself’ even as it is a part of a system” (Koh, 2019, s. 105) (Pojedyncze piksele i bity informacji, które są przesyłane seryjnie, każdy bit jest nieciągły i absolutny - każdy bit „jest sam w sobie”, nawet jeśli jest częścią system – tłum. własne).

<sup>1</sup> ML is based on computational statistics and optimization procedures and explores self-improving learning techniques to solve problems or perform specific tasks. Based on training data, ML spontaneously improves its task performance without human intervention. Currently, ML is seldom applied in architecture. Exceptions include, among others, optimized control strategies for building systems operations, generation of surrogate models for design optimization, floor plan layout, urban planning, construction modeling (Belém et al., 2019).

<sup>2</sup> The principles governing sensory reactions of the recipient of architecture and the way of ordering stimuli into structures were explored with reference to architecture as early as 1973 by Juliusz Żórawski. He demonstrated the connection between form in architecture and two-dimensional images in Psychology of Forms, applying the theories contained in “La psychologie de la forme” (Guillaume, 1937) to architectural considerations in his work “On the Construction of Architectural Form” (Żórawski, 1973).

<sup>3</sup> Immanuel Koh works as an assistant professor at Singapore University of Technology and Design in the departments of Design and Artificial Intelligence (DAI) and Architecture and Sustainable Design (ASD) (SUTD).

<sup>4</sup> Allen’s notion of “object” and “field” was derived from two main sources of inspiration: the concept of field borrowed from the physical sciences called “field conditions,” which is used to understand the complex, changeable, and dynamic forces only seen by their effects, and the idea of ‘field’ that is derived from Gestalt psychology (Baudoin, 2015).

<sup>5</sup> Vivian Sobotchak describes reading digital images using this method as follows: “discrete pixels and bits of information that are transmitted serially, each bit discontinuous, discontinuous, and absolute - each bit ‘being in itself’ even as it is a part of a system” (Koh, 2019, s. 105).

#### LITERATURA/ REFERENCES

- [1] Allen S., 1987, From object to Field, *Architectural Design*, 67(5), s. 6-10.
- [2] Baudoin G., 2015, *Interpreting site: Studies in perception, representation, and design*, New York: Routledge.
- [3] Belém C., Santos L., Leitão A., 2019, *On the Impact of Machine Learning: Architecture without Architects?*, CumInCAD.
- [4] Carpo M., 2017, *The second digital turn: design beyond intelligence*, Cambridge: MIT press.
- [5] Cudzik J., Radziszewski K., 2018, Artificial Intelligence Aided Architectural Design, *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, s. 77-84.
- [6] Guillaume P., 1938, La psychologie de la forme, *Revue Philosophique de la France Et de l*, 126 (9), s. 213-216.
- [7] Han Y. J., Kotnik T., 2020, A Tomographic computation of Spatial Dynamics, *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, s. 89-94.
- [8] Khean N., Fabbri A., Haeusler M.H., 2018, Learning Machine Learning as an Architect, How to? Presenting and evaluating a Grasshopper based platform to teach architecture students machine learning, *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, pp. 95-102.
- [9] Koh I., 2019, Discrete Sampling: There is No Object or Field... Just Statistical Digital Patterns, *Architectural Design*, 89(2), s. 102-109.

- [10] Koh I., 2022a, Voxel Synthesis for Architectural Design, *Design Computing and Cognition*, 20, s. 297-316.
- [11] Koh I., 2022b, Architectural Plasticity: The Aesthetics of Neural Sampling, *Architectural Design*, 92(3), pp. 86-93.
- [12] Lynn G., 1993, *Folding in Architecture*, London: Academy Editions.
- [13] Lynn G., Kelly, T., 1999, *Animate form (Vol. 1)*, New York: Princeton Architectural Press.
- [14] Mallgrave H. F., & Goodman D. J., 2011, *An introduction to architectural theory: 1968 to the present*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- [15] Merrell P., Schkufza E., Koltun V., (2010), Computer-Generated Residential Building Layouts, *ACM Transactions on Graphics*, 29(6), s. 1-12.
- [16] Schumacher P., 2009, Parametricism: A new global style for architecture and urban design. *Architectural Design*, 79(4), s. 14-23.
- [17] Tamke M., Nicholas P., Zwierzycki M., 2018, Machine learning for architectural design: Practices and infrastructure. *International Journal of Architectural Computing*, 16(2), s.123-143.
- [18] Racec E., Budulan S., Vellido A., 2016, Computational intelligence in interior design: A state-of-the-art and outlook, *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* 288, pp. 108-113.
- [19] Żórawski J., 1973, *O budowie formy architektonicznej*, Warszawa: Arkady.