

ARCHITECTURAL DESIGN

PROJEKTOWANIE
ARCHITEKTONICZNE

JOANNA JADWIGA BIAŁKIEWICZ

PhD Eng. Arch.

Cracow University of Technology

Faculty of Architecture

e-mail: jbialkiewicz@pk.edu.pl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8827-9397>

WILL BIOMIMETIC ARCHITECTURE REPLACE ARCHITECTURAL CREATION?

CZY ARCHITEKTURA BIOMIMETYCZNA ZASTĄPI KREACJĘ ARCHITEKTONICZNĄ?

ABSTRACT

This study is focused on the problematic idea of implementing the concepts of biomimetics and biomimicry in architecture. Both terms refer to the imitation of nature in order to find solutions for problems arising in various scientific disciplines and human activity. Currently, biomimetics most often means the scientific translation of nature's forms, functions, and processes for the purposes of technological innovation, and biomimicry postulates mimicking nature at the ecosystem level, introducing sustainability. This paper aims to answer the question whether biomimetic architecture can still be perceived as a visual art. The ideas of biomimetics are confronted with the traditional (historical) perception of architecture in four aspects: a building's form, material, the creative process, and purpose. According to the concepts of biomimetics and biomimicry, a building's form is completely dependent on its function, and should not be shaped by the architect, but 'found' through optimization. Architecture's goal is primarily ecological and social. Therefore, the implementation of all radical biomimetic principles causes the rejection of the expressive, aesthetic, and symbolic values of architecture. It also ends up with the denial of the architect's creative act of design, replaced by an evolutionary 'form-finding' process. Consequently, architecture might lose a part of its identity as a domain of art. However, if we want architecture to remain an artistic discipline, inspiration with nature cannot lead to a complete rejection of attention to form and all non-functional objectives.

Keywords: function, form, biomimetics, biomimicry, biomimetic architecture

STRESZCZENIE

Przedmiotem opracowania jest problematyczne zagadnienie implementacji w architekturze koncepcji biomimetyki oraz biomimikry. Oba terminy dotyczą naśladowania natury w celu czerpania z niej rozwiązań dla problemów pojawiających się w rozmaitych dziedzinach działalności człowieka. Obecnie w literaturze pojęcie „biomimetyka” najczęściej oznacza translację naukową form, funkcji i procesów naturalnych w celu innowacji technologicznej, zaś „biomimikra” postuluje wzorowanie się na naturze na poziomie ekosystemu, zgodnie z zasadami zrównoważenia. Implementacja idei biomimetyki i biomimikry do architektury napotyka na problemy, zarówno w procesie translacji (np. problem skali), jak i w samej idei połączenia nauki (biologii) z projektowaniem architektonicznym, które nie jest działalnością naukową. Celem pracy jest odpowiedź na pytanie: Czy „architektura biomimetyczna”, czyli realizująca całościowo koncepcję biomimetyczną, może pozostać architekturą w rozumieniu sztuki wizualnej?

Idee biomimetyki zostają skonfrontowane z tradycyjnym (historycznym) postrzeganiem architektury w 4 aspektach: forma, materiał, proces twórczy, cel dzieła. Zgodnie z postulatami biomimetyki i biomimikry forma dzieła jest całkowicie podporządkowana funkcji i nie powinna być kształtowana przez architekta, lecz „znajdowana” w drodze optymalizacji. Cel architektury jest przede wszystkim ekologiczny i społeczny. Radykalna implementacja wszystkich zasad biomimetyki prowadzi więc do odrzucenia walorów ekspresyjnych, estetycznych i symbolicznych architektury, a także do zaprzeczenia samego aktu twórczego architekta, postulując w jego miejsce ewolucyjne znajdowanie form optymalnych. Może to prowadzić do przewartościowania pojęcia architektury, która traci swoją tożsamość jako dziedzina sztuki.



Niewątpliwie biomimetyka może być użytecznym narzędziem współczesnej architektury, dostarczając jej komponentów i materiałów. Jednak, aby architektura mogła pozostać dziedziną sztuki, inspiracja naturą nie może prowadzić do całkowitego odrzucenia dbałości o formę i wszelkich pozafunkcyjnych celów.

Słowa kluczowe: funkcja, forma, biomimetyka, biomimikra, architektura biomimetyczna

1. INTRODUCTION

In architecture, the present is characterized by a great variety of emerging trends and concepts. The development of technology and digital tools to support design has opened up a whole spectrum of new materials and possibilities for shaping form for architects. At the same time, among the topics that significantly preoccupy public opinion and researchers are the issues of the negative impact of civilization on the climate and environment, and the potential to counteract it through sustainable development strategies. Against the background of these phenomena, the concepts of *biomimetics* and *biomimicry* have gained great popularity in the last two decades. The distinction between these concepts will be discussed below; in general, both terms refer to the imitation (*mimesis* in Greek) of nature in order to draw from it solutions to problems that arise in various fields of human activity. The possibility of implementing biomimetics in architecture, combined with sustainable design theory, is a prominent feature in the literature of the last four years. Between 2019 and 2022, the keyword 'biomimetic architecture' appeared 1070 times in publications,¹ which showcases the concept's growing popularity.

2. PURPOSE AND SCOPE OF THE STUDY

This paper collects and presents the controversies and problems found to accompany the transfer of biomimetics into architecture. Research questions that have not yet been raised and resolved in the literature are: will biomimetic architecture, if it exists holistically according to the concept of biomimetics, remain architecture in the sense of visual art, as this area of human activity is traditionally perceived? Do the ideas that make up the concept of biomimetics stand in partial or complete opposition to the values through which architecture has historically been perceived and evaluated? To resolve this, the ideas of biomimetics will be confronted with the traditional perception of architecture in four aspects:

1. Form.
2. Material.

3. Creative process.

4. Purpose of the work.

We define 'traditional perception of architecture' as a set of criteria used to evaluate architecture from the Western cultural sphere since antiquity to the 20th century, and the way it is perceived by society at large. The conclusion will be to determine whether architecture can adapt the ideas of biomimetics, remaining in the field of art as it has been perceived for centuries, or whether biomimetics reverses its traditional understanding.

3. LITERATURE REVIEW

The literature on the subject of biomimetics itself is quite extensive.² In the following study, we will focus on selected items on the application of biomimetic ideas in architecture, most of which were published after 2010. In 2011, the work of M. Pawlyn *Biomimicry in Architecture* was published (Pawlyn, 2011). The author identifies biomimicry, or the imitation of biological processes and systems, with the aim of developing sustainable solutions. Pawlyn formulates guidelines for biomimetic design according to the principles of nature, which he considers possible to implement in architectural activities. These are, first and foremost: efficiency and rationality in the use of resources and materials; the creation of regenerative closed systems based on solar energy; the treatment of waste as a resource in *cradle to cradle*³ loops; the adaptation of the design to the specifics of the site. The essence of biomimetics for Pawlyn is to mimic not form but process, that is, to define a design task in functional terms and analyse how a function is performed in nature. In the same year, P. Gruber published a comprehensive dissertation entitled *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings* (Gruber, 2011). She defines biomimetics in architecture as a discipline that provides innovative solutions by using models from nature. However, she has doubts about the term *biomimetic*

¹ According to data taken from the Scopus database. The keyword 'biomimetics' alone appeared 27,319 times in 2019–2022, while 'biomimicry' appears 1011 times.

² According to the Scopus database, between 1997 and 2022, the keyword 'biomimetics' appeared more than 75,000 times.

³ The Cradle to Cradle idea implies a closed loop in which potential waste is fully recycled, as opposed to the linear process of Cradle to Grave, which is followed by waste production.

architecture as a name for a new style or genre,⁴ pointing out that the phrase *biomimetic design* as indicating the architect's way of doing things is more reasonable. P. Gruber lists *principles of nature design* and *criteria of life* that she sees as applicable to architecture.⁵ A. Menges (2012) placed particular emphasis on the biomimetic modelling of the design process itself, making a significant distinction between biologically inspired building products and actual biomimetic architecture.⁶ As for Poland, J. Onyszkiewicz's doctoral thesis (Onyszkiewicz, 2019) defined ten features of a biomimetic structure. These are: optimization of form — maximization of function; biomorphism; structural efficiency; biomimetic materials; application of the Cradle to Cradle principle; energy conservation, energy obtained only from renewable sources; responsiveness and adaptation; rational water management; reduction of CO₂ emissions; eco-friendly urbanization. The year 2019 also saw the publication of the study *Functionalism, organic and biomimetic architecture* (de Bruyn et al., 2019), which demonstrated the potential conflict between biomimetics and the perception of architecture as art. It concludes with the statement that *the term of 'biomimetic architecture' cannot be justified until the scientific input derived from biology has become secondary and its aesthetic transformation into architecture has become the primary feature*. After 2020, we see a large number of publications on bio-mimetics applications in architecture, including in the journal 'Biomimetics', such as *Biomimicry in Architecture* (Verbrugghe, Rubinacci and Khan, 2023), *Applications of Biomimicry in Architecture, Construction and Civil Engineering* (Al Ali et al., 2023), or *Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design* (Dixit and Stefańska, 2023). These studies repeat the same statements: biomimetics is not about reproducing form, but about imitating the rules and principles of nature's operation; biological inspiration takes place on three levels — imitating the structure of living organisms, their behaviour, and ecosystem functioning; biomimicry is closely linked to sustainability (Nasir and Kamal, 2022). Vitalis and Chayamoor-Heil (2022) argue that *the idea of biomimetic*

architecture is problematic because design is not a scientific activity and subordinating it to biology produces an effect that is *not quite architectural*. According to Vitalis, the conceptual misunderstanding here works both ways, because both *forcing architecture to be science* and *forcing biology to be architecture* cause distortions and a loss of some of the meanings and qualities in both fields.

4. PROBLEMS OF BIOMIMETIC ARCHITECTURE

Biomimetics emerged as a term in the 1950s, when bioengineer and physicist Otto Schmitt so named his research on creating a synthetic nerve modelled on the nervous system of an octopus (Chayamoor-Heil, 2023). The term 'biomimicry' is of later origin, introduced by Janine Benyus in her dissertation *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, first published in 1997 (Benyus, 2002), and in her interpretation it has a broader meaning than simply modelling the design of living organisms when constructing useful objects and devices for humans. Benyus describes biomimicry as drawing inspiration from nature to solve human problems. According to Benyus, nature, with its 3.8 million years of evolutionary experience in optimizing all processes, should be treated as a mentor, model and yardstick in all areas of human activity. *There is more to discover than to invent* — this phrase is particularly relevant, as it shifts the focus from the creative zone to strict research. At present, the literature predominantly associates biomimetics with the scientific translation of natural forms, functions and processes for technological innovation, while biomimicry focuses on connecting with nature in the context of inspiration and education, and advocates modelling nature at the level of ecosystems, bringing sustainability to the fore. Hereinafter, we will use the term 'biomimetic architecture' because it is the most popular, but in a broader sense, it encapsulates the entire spectrum of postulated features and ideas linked with both terms.

The implementation of biomimetics and biomimicry into architecture faces several problems noted by researchers. The main one is external constraints, namely financial resources and legislation. At the moment, biomimetic research is very expensive, and is therefore unattainable for most individuals and institutions that invest in architecture. The second category is the problems with the translation process itself. Identifying and selecting phenomena from nature is questionable — should architects consider only living organisms, or inanimate nature and the physical laws that govern the universe? Biological

⁴ As architectural projects are determined by so many parameters, the definition of 'Biomimetic Architecture' as a new style or genre is not suitable.

⁵ These are: openness, self-organization, information processing, constraint, order, propagation (autopoiesis), growth, energy processing, reactivity, homeostasis, evolution.

⁶ The result of the biomimetic design process should be a heterogeneous architecture that responds to complex, often opposing requirements.

beings function in highly complex hierarchical structures, and the specific properties of natural materials depend on their structure at the cellular level, which raises the question of how deep the imitation should go to properly mimic functionality (Aamer et al., 2020). This is linked to the inability to reproduce certain processes at scale (Stefańska and Cygan, 2022). Integrating partial solutions taken from different contexts into a single design can also be troublesome (Marques de Oliveira, 2019). The last and most important challenge in the context of this study is biomimetic architecture's interdisciplinary nature, namely the need to find common ground between two disciplines, one of which is science (biology) and the other is art and engineering (architectural design). As Vitalis notes, nature appears to us empirically but does not teach itself, in the concept of biomimetics people are inspired by their understanding of nature, shaped by modern technological culture, and its scientific description, i.e., biology. The goals of science and design are quite different, science starts from a position of emancipation from reality (hypothesis) and returns to it (scientific proof). Design, as a manifestation of artistic activity, may start from reality but ultimately emancipates itself from it through the act of creation. This very problem, according to the author, lies at the root of the antagonistic position of biomimetic architecture towards architecture's traditional understanding as art.

5. CONFRONTING BIOMIMETICS WITH ARCHITECTURE'S TRADITIONAL PERCEPTION

5.1. Form

In the history of architecture, the distinction between and interrelation of a building's form and function has played a very important role. During the centuries preceding the famous phrase *form follows function*, as coined by Louis Sullivan, form was treated as a *carrier of ideas* and therefore separate from function, resulting from *practical necessity* (Hendrix, 2012). Designing a building's use structure along imposed functional needs was treated as a subordinate activity to the design of its form — judged by criteria applied to art. Form also served formality, both in religious (depicting the glory of a deity) and secular architecture, being an expression of the project owner's prestige. According to the principle of *decorum*, form had to be appropriate to the function in terms of its rank. 20th-century architectural discourse was dominated by the Modernist idea of the unity of form and function. Form was to derive from function and reflect it in the structure of the building.

Even despite this significant shift in emphasis, architects did not abandon the aesthetic significance of form and its role as an expression — of a particular idea, the human condition, the individuality of the designer. The issue of the perception of form in the history of architecture is very extensive and there is no way to exhaust it here, but it is necessary to signal a few terms with which form is combined in traditional and historical perception. These are:

- aesthetics;
- formality;
- expressiveness;
- individuality and originality.

Over the centuries, architects have repeatedly been inspired by nature in designing their forms, including in ornamentation, detailing, but also, for example, in the outline of an entire building (Ill. 1). Such references to nature are called biomorphism by contemporary authors, who clearly separate it from biomimetics, which consists in copying the technological model of nature, not just the appearance, that is, the form itself without understanding the function, construction and operation. Biomimetic architecture, in its radical form, rejects all the traditional aspects of architectural form mentioned above and proposes a completely different perception of it. In nature, form is derived from function and is inextricably linked to structure. The possible aesthetic aspect of natural objects is always the result or tool of a certain functionality.

Thus, there is no room for aesthetic formalism or the expression of anything other than function. In nature, one can observe a clear tendency toward standardization and repetition — phenomena that follow optimization, while opposing notions of individualism and originality. Optimizing form and maximizing function are some of the essential ideas of biomimetic architecture. According to this concept, a building's form is not its independent value, it is completely subordinated to the function and structure. According to J. Onyszkiewicz, biomorphism can occur to emphasize the natural source of inspiration, but there is no place for the expression of the designer's individuality or the pursuit of aesthetics per se, they are simply not functionally justified. Crucially in biomimetic architecture, a building's form should be responsive, it should react to changing external factors, and autopoietic, namely capable of independent growth (replication). The idea of structural design rejects the very individualistic act of creating form by the architect. The goal is to find structurally optimal shapes, i.e., via so-called form-finding. The architectural form becomes the result of research, and the architect becomes the manager who oversees

the interdisciplinary process of finding it. The optimal form, in biomimetic terms, is, of course, a form integrated into the ecosystem, which leads to the new postulate of biomimicry formulated in L. Badarnah's work *Form Follows Environment* (Badarnah, 2017).

5.2. Material

In the traditional perception of architecture, materials can be divided into structural and finishing materials. The choice of the former is mainly a technological issue, the latter — a decision left to the architect's artistic vision. Structural materials often remain hidden under finishing ones. Materials with homogeneous structures and easily describable properties predominate. The criteria for the selection of materials are both their parameters — physical and chemical properties, evaluated in terms of functionality, convenience of processing and installation, and durability in use, as well as purely aesthetic and prestige-related considerations, and often the symbolism contained in certain visuals and colours. In the history of architecture, formal considerations often outweighed economic ones, when instead of using locally sourced materials, costly alternatives were imported from distant places so as to testify to the wealth and prestige of the project owner.

The concept of biomimetic architecture imposes a completely different approach to materiality. The basic principle is minimization. Nature strives to achieve maximum efficiency with minimum material consumption. Similarly, in architecture, structural efficiency should go hand-in-hand with material economy. Material in nature is not selected, but results from function and form. Hence, in biomimetics there is no place for finishing materials that have no structural function and serve only aesthetic purposes. Design following nature's logic rejects questions of aesthetics in favour of rationality in resource management. In doing so, the material is evaluated solely according to utilitarian and ecological criteria — it should be non-toxic and biodegradable according to the Cradle to Cradle principle, manufactured in low temperature or sourced locally so as to minimize transport costs. According to the strategy of so-called material ecology, a building material's key task is to link the building with the environment. Hence, a biomimetic material's multifunctionality and responsiveness are crucial and desirable features. In biomimetic architecture, a building material can be practically any substance that meets the criteria listed above. There are experiments in the use of biomaterials, nanomaterials and plastics with a cellular structure (e.g., modelled after a honeycomb, bone

structure, foam, or layered).⁷ The development of modern additive construction technologies, including 3D printing, makes it possible to go beyond the limited, traditional repertoire of materials and use non-standard plastics that mimic complex adaptive natural structures, tailored individually to a given building and its operation in the environment.

5.3. Creative process

Architectural design, in the traditional sense, has two components: the creative activity of the designer and project conditions. Conditions and constraints can inhibit the architect's artistic expression or, on the contrary, stimulate it by provoking a search for new solutions. The architect's simultaneously solves problems and creates new values with the characteristics of a work of art. The better the correlation of these two factors, the more valuable a work of art is created, simultaneously realizing the set functions and constituting a distinctive structure with artistic qualities. Thus, we can divide the process of creating an architectural design into an 'engineering' phase — that is, finding solutions to the set problems and criteria, and an artistic phase, in which the architect expresses their individuality by shaping the form of the structure, giving it an expressive, symbolic or contextual value. When the creative phase is absent, we are mostly dealing with construction, not considered in terms of a work of art.

The biomimetic approach completely changes the perception of architectural design. The creative process loses its individualized character. The need for interdisciplinary cooperation between biologists, architects, specialists in materials technology, software and other disciplines makes each project a collective work. The main emphasis is on the conceptual phase, in which a set of problems is solved by finding analogies in the natural world. This has been made possible by computers and parametric design technology, so there is a far-reaching hybridization of automation and human activity, with human input consisting in defining the purpose and conditions of the project. Biomimetics implies a shift from design as a creative process based on an architect's knowledge, experience and unique vision, to computer-based design based on methods of abstraction, modelling, simulation and optimization. Architectural design here is not shaping — creating a complete, finite form of a material object, but searching for the optimal way of its operation and

⁷ Non-standard construction materials include, for example, silk thread, biodegradable bamboo composite, carbon-fiber reinforced plastics, hardened sand, robotically wound fiberglass.

building a future relationship between the ‘living’ building and the environment.

According to A. Menges, for a building to be biomimetic, the design process must be biomimetic. In nature, the place of creation *ex nihilo* is taken by evolution. The orthodox approach to imitating natural processes, their essence and mechanisms, leads directly to a rejection of the creative process. Its place is taken by an evolutionary search for forms that are optimal for the given functionalities. Thus, the concept of biomimetic architecture includes the notion of evolutionary design (Malkowsky et al., 2019), in which new formal alternatives are created by a computer through permutations and combinations of digital ‘genomes’. Following the model of natural selection, each emerging solution is evaluated according to established criteria, and only the best move on to the next stages of the process. The traditional design process, which encompasses an architect’s creative expression, is replaced by *morphogenesis* (Roudavski, 2009). The building thus shapes itself and evolves according to accepted functional criteria. Digital tools, which traditionally serve to present and convert the architect’s vision into specific parameters, in this case generate and foster the emergence of the desired form and its subsequent transformations. P. Gruber notes that the typical architectural design process also shows similarities to evolution and natural selection, as a process of selecting the best solution from among alternative proposals. However, transferring this process to a virtual environment and basing it on algorithmic procedures inevitably lead to the dissociation of the designer and the action of design, and consequently to autogenerative architecture.

5.4. Purpose of the work

Of all the visual arts, architecture is undoubtedly the most ‘practical’, that is, it serves human needs. Architecture organizes and shapes a safe and friendly space for most human activities, allowing people to function even in unfavourable conditions of climate and natural surroundings. Over the centuries, the development of architecture has become an expression of civilizational progress, and from its original function of shelter, edifices have risen to the status of symbols of human presence and activity. As a work of art, a building can provide an aesthetic experience, carry an idea or symbolism in the context of a place and its history. Distinctive architectural buildings with a particularly original and artistically valuable form become icons, and serve to visually identify and promote localities, regions and countries.

Biomimetics alters this anthropocentric view of architecture. Its goal is to create buildings that are as integrated with nature as possible. Buildings are to be ecologically and sociologically valuable first and foremost, and these are the main criteria for their perception and evaluation. A work of architecture is to be modelled on living organisms, and thus function in an ecosystem, reacting and adapting to its changes. In this sense, architecture’s purpose is no longer to create aesthetic or symbolic values. The building is not to stand out, but should act as a symbiotic connection between humans and their activities and the environment. The idea of architecture having a minimal impact on the ecosystem can include not only issues of resource consumption and energy circulation, but also a building’s visual presence. This leads to calls for the creation of *invisible architecture*.⁸ J. Onyszkiewicz writes that it is not important for architecture to be *spectacular* — *What is important, however, is for it to be locally engaged. So that its operation does not negatively affect the environment*. According to the concept of ‘regenerative design’, a biomimetic building is supposed to function in a closed, Cradle to Cradle cycle. Animal habitats or vernacular construction can serve as models here. Thus, it can be said that the ideal here is to return architecture to its original sources, to an architecture created without architects, that disregards all the non-functional goals given to it over several centuries in successive stages of development.

6. CONCLUSIONS

Architecture has traditionally been categorized as a visual art, so it is combined with concepts beyond practical aspects, such as creativity, originality, aesthetics. As a branch of art, it is at the same time closest to people and interferes most strongly with the natural environment. It can be said that architecture has transformed the natural environment into a human environment. Biomimicry in its essence assumes, as it were, a return, that is, the full assimilation of architecture into the ecosystem. As the above analysis shows, biomimetic architecture stands in opposition to the traditional perception of architecture in all the aspects described:

- a) Form is completely subordinated to function, the goal is to find the optimal form, rejecting aesthetic, symbolic and expressive qualities;

⁸ In this context, P. Gruber writes about the work of the London studio Future Systems, which designs houses hidden underground.

- b) Material selection criteria are exclusively utilitarian and ecological. No materials unrelated to the structure;
- c) The biomimetic design process is fully objectivized, based on evolutionary algorithms, devoid of individualism and creativity;
- d) The goal of the building is to have the best possible relationship with the environment. Architecture is subordinated to ecological, social and economic aspects in accordance with the principles of sustainability.

Treating the idea of biomimetics as an actual architectural manifestation seems problematic in light of the issues discussed above. A biomimetic architecture that implements all these principles may cease to be seen as an art discipline. Thus, a radically biomimetic approach undoubtedly leads to a re-evaluation of the very notion of architecture (Januszkiewicz and Gołębiewski, 2020), and architects must decide whether they want to continue practicing art or turn to science. Since entering the modern era, architects have constantly faced attempts to undermine their creative authority, and biomimetics seems to be the culmination of this trend. Implementing biomimetics in architecture results in the field being treated in the same way as medicine or chemistry, and architects do not know whether they should engage in science and to what extent they should subordinate their design practice to it. Design is an area of heuristic processes more than a search for the right rational optimum for nature's action. The authors of *Functionalism, organic, and biomimetic architecture* note that the infiltration of architecture by science offers some gain, but also entails loss. In this case, architecture loses a significant part of its identity. Humans are undoubtedly part of nature, yet they excel in it, manifesting not only rational but also irrational needs, such as the need for individual expression and aesthetic experience. Architecture should remain an expression of all these needs.

7. SUMMARY

For the time being, most biomimetic experiments remain confined to academic institutions. The architectural structures called biomimetic that are built there are usually small-scale experimental demonstration pavilions. A series of such pavilions was created starting in 2011 at the University of Stuttgart in a collaboration of researchers from the Institute for Computational Design (ICD, under the direction of A. Menges) and the Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE, under the direction of J. Knippers), with contributions

from biologists and palaeontologists. Each of these buildings focuses on the transfer of a single biomimetic issue, either structural or material, from the natural world to design, e.g., the Rosenstein Pavilion (Ill. 2) features an extremely lightweight support structure inspired by the structure of snail shells.⁹ Another example is the 2013 Silk Pavilion designed by the Mediator Matter team under the direction of Neri Oxman, which is a dome made of thread woven by live silkworms on a frame of polygonal panels. Such pavilions are highly advanced research and technological facilities, and their main task is to test and demonstrate particular biomimetic solutions. The practical potential and real prospects for a wider implementation of biomimetics in architecture (including Polish architecture) requires a separate study, as does the largely unexplored presence of biomimicry in contemporary urban planning.

For the present moment, biomimetics is closely linked to advanced technology, drawing on modern discoveries in materials, construction and additive and modular fabrication methods, also strongly inspiring and driving their development. As a consequence of radical demands to rely on the logic of nature, the creative process itself is also being peculiarly automated and dehumanized, transferred to a virtual environment and based on algorithmic procedures. It seems that the replacement of the architect as a person with artificial intelligence, whose task would be to comprehensively analyse all the conditions of a given project and task the optimal criteria for a morphogenetic algorithm, would be a natural consequence of this. It is significant here that the ideological return to the primordial laws of nature postulated in biomimetics theory is so strongly connected with the high technological advancement of human civilization and based on its latest achievements. The question of whether the profession of architect-artist will be replaced by advanced AI-based design systems in the future remains open.

L. Vitalis analyses a building often presented in the literature as an early example of biomimetic solutions, namely the Eastgate Centre in Harare, noting that by mimicking the ventilation system of termite mounds, the building mimics not nature itself, but a structure built by animals, i.e., their

⁹ The Rosenstein Pavilion was designed for the *Baubionik — biologie beflügelt architektur* exhibition at the Natural History Museum Stuttgart in Stuttgart (2017–2018) by the teams of the Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design (Professor W. Sobek), Institute for Control Engineering of Machine Tools and Manufacturing Units (Professor A. Verl), German Institute of textile and Fibre Research (Professor Götz T. Gresser).

technology (Ill. 3–4). According to the author, it is the artifacts built by living creatures that seem to be a better source of inspiration for architecture than the organisms themselves. Biomimetics can undoubtedly serve as a tool for architecture, providing it with technological components, such as facade systems that respond to changing weather conditions or bespoke biomaterials. It is also a necessity of modern times to emphasize eco-friendliness — in biomimicry it is the proper functioning of architecture in its ecosystem in terms of natural resource consumption and CO₂ emissions. In order for architecture to maintain its place among the arts, inspiration from nature

must not lead to the rejection of attention to form and all non-functional goals. L. Vitalis writes about *non-functionalist biomimetics*, in which the biological model can be enriched with forms, imagery and symbolism that are part of architectural know-how. The architect's task is to combine openness to the possibility of applying biomimetic solutions with a certain scepticism, since many things that we learn from nature must remain metaphorical. Behind every building as a work of art there should be an author that takes responsibility for it, combining knowledge and social and ecological awareness with imagination and creativity.



Ill.1. An example of biomorphism in architectural detail — column capitals and pilasters with ornament depicting acanthus leaves. The University Collegiate Church of St. Anne in Kraków, Photo by J.Białkiewicz, 2024

Il.1. Przykład biomorfizmu w detalu architektonicznym — kapitele kolumn i pilastrów z ornamentem przedstawiającym liście akantu. Uniwersytecka Kolegiata św. Anny w Krakowie. Fot. J. Białkiewicz, 2024.



Ill. 2. Rosenstein Pavilion at the exhibition „baubionik — biologie beflügelt architektur” in the State Museum of Natural History in Stuttgart, 2017.

Il. 2. Pawilon Rosenstein na wystawie „baubionik — biologie beflügelt architektur” w Muzeum Historii Naturalnej w Stuttgarcie, 2017.

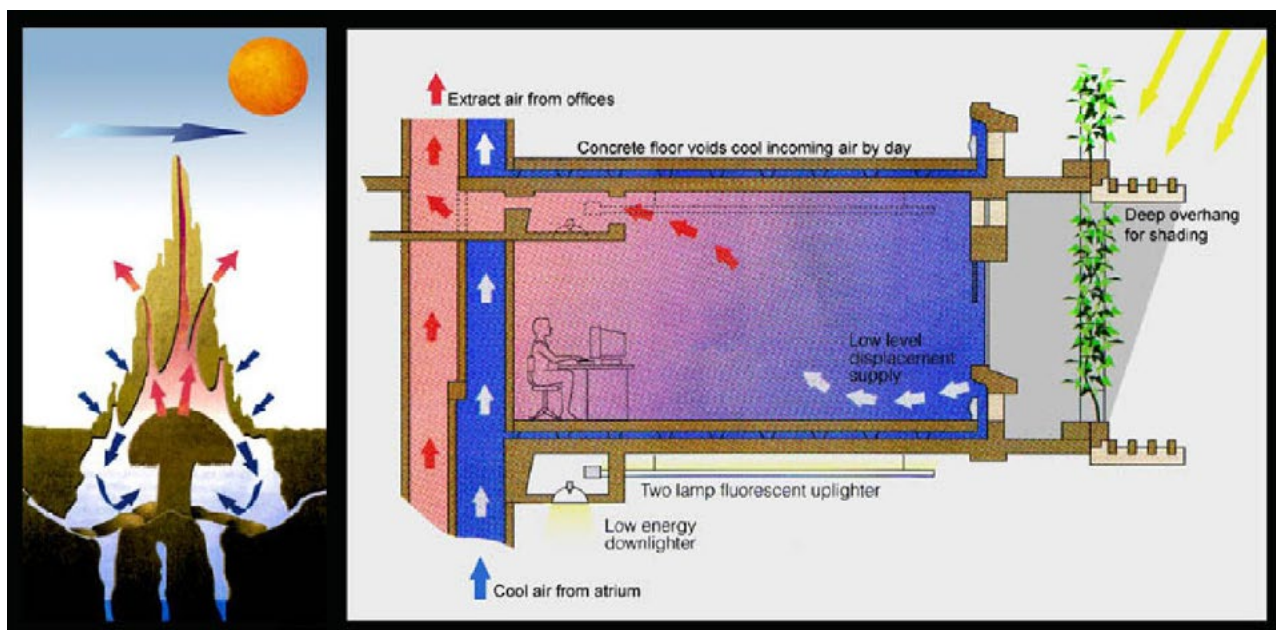
Source / Źródło: Image credits: Daria Kovaleva / ILEK, University of Stuttgart.



Ill. 3. Eastgate Building in Harare.

Il. 3. Eastgate Centre w Harare.

Source / Źródło: <https://www.mick-pearce.com/Eastgate.html>



Ill. 4. Termite mound ventilation system (left), air movement in the Eastgate Building in Harare (right).

Il. 4. System wentylacji kopców termitów (po lewej), ruch powietrza w budynku Eastgate w Harare (po prawej).

Source / Źródło: <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>:

1. WSTĘP

Architektura współcześnie odznacza się dużą różnorodnością pojawiających się trendów oraz koncepcji. Rozwój technologii i cyfrowych narzędzi wspomagających projektowanie otworzyły przed architektami całe spektrum nowych materiałów oraz możliwości kształtowania formy. Jednocześnie wśród tematów istotnie zaprzatających opinię publiczną i naukowców wysuwają się kwestie negatywnego wpływu cywilizacji na klimat i środowisko oraz możliwości przeciwdziałania mu poprzez strategie zrównoważonego rozwoju. Na tle tych zjawisk dużą popularność w ostatnim dwudziestolecu zyskały koncepcje biomimetyki (*biomimetics*) oraz biomimikry (*biomimicry*). Rozróżnienie tych pojęć zostanie omówione poniżej; w ogólnym ujęciu oba terminy dotyczą naśladowania (gr. *mimesis*) natury w celu czerpania z niej rozwiązań dla problemów pojawiających się w różnych dziedzinach działalności człowieka. Możliwość zaimplementowania idei biomimetyki w architekturze, łączona z teorią projektowania zrównoważonego, jest szczególnie obecna w literaturze ostatnich czterech lat. Pomiędzy rokiem 2019 a 2022 słowo kluczowe „architektura biomimetyczna” pojawiło się w publikacjach 1070 razy¹⁰, co należy uznać za przejaw rosnącej popularności tej koncepcji.

2. CEL I METODY BADAŃ

W niniejszym opracowaniu zostały zebrane i przedstawione zidentyfikowane kontrowersje oraz problemy towarzyszące transferowi biomimetyki w obszar architektury. Pytania badawcze, które nie zostały do tej pory postawione i rozstrzygnięte w literaturze to: Czy architektura biomimetyczna, jeśli zaistnieje całościowo według koncepcji biomimetyki, pozostanie architekturą w rozumieniu sztuki wizualnej, tak jak tradycyjnie jest postrzegany ten obszar działalności człowieka? Czy idee składające się na koncepcję biomimetyki nie stoją w częściowej lub całkowitej opozycji do wartości, poprzez które historycznie postrzegana i oceniana jest architektura? Aby to rozstrzygnąć idee biomimetyki zostaną skonfrontowane z tradycyjnym postrzeganiem architektury w czterech aspektach:

1. Forma.
2. Materiał.
3. Proces twórczy.
4. Cel dzieła.

¹⁰ Według danych zaczerpniętych z bazy Scopus. Samo słowo kluczowe „biomimetyka” pojawia się 27 319 razy w latach 2019–2022, a „biomimikra” — 1011.

Jako „tradycyjne postrzeganie architektury” definiujemy zespół kryteriów oceny architektury zachodniego kręgu kulturowego od czasów starożytnych do XX wieku oraz sposób jej postrzegania przez ogół odbiorców — społeczeństwo. Wnioskiem będzie rozpoznanie kwestii, czy architektura może zaadaptować idee biomimetyki, pozostając w obszarze sztuki, tak jak była postrzegana przez stulecia, czy też biomimetyka jest koncepcją odwracającą tradycyjne rozumienie tej dziedziny ludzkiej działalności.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

Literatura dotycząca samego zagadnienia biomimetyki jest dość obszerna¹¹. W poniższym opracowaniu skupiono się na wybranych pozycjach dotyczących aplikacji idei biomimetycznej w architekturze, których najwięcej opublikowano po roku 2010. W 2011 ukazała się praca M. Pawlyna *Biomimicry in Architecture* (Pawlyn, 2011). Autor identyfikuje biomimikrę, czyli naśladowanie biologicznych procesów i systemów, z dążeniem do wykształcenia zrównoważonych rozwiązań. Pawlyn formułuje wytyczne do projektowania biomimetycznego zgodnie z zasadami natury, które uważa za możliwe do zaimplementowania w działalności architektonicznej. Są to przede wszystkim: efektywność i racjonalizm wykorzystania zasobów i materiałów, tworzenie regeneracyjnych układów zamkniętych opartych na energii słonecznej, traktowanie odpadów jako zasobów w pętlach *cradle to cradle*¹², dostosowanie projektu do specyfiki lokalizacji. Istotą biomimetyki dla Pawlyna jest naśladowanie nie formy, lecz procesu, czyli określenie zadania projektowego w kategoriach funkcjonalnych i analiza, w jaki sposób dana funkcja jest realizowana w naturze.

W tym samym roku P. Gruber opublikowała obszerną rozprawę pt. *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings* (Gruber, 2011). Autorka definiuje biomimetykę w architekturze jako dyscyplinę dostarczającą innowacyjnych rozwiązań poprzez zastosowanie modeli z natury. Ma jednak wątpliwości co do terminu „architektura biomimetyczna” jako nazwy nowego „stylu lub gatunku”¹³

¹¹ Według bazy Scopus w latach 1997–2022 słowo kluczowe „biomimetyka” pojawia się łącznie ponad 75 000 razy.

¹² Idea *cradle to cradle* — „od kołyski do kołyski” zakłada zamknięty obieg, w którym odpady stają się w całości materiałem, w przeciwieństwie do liniowego procesu *cradle to grave* („od kołyski po grób”), w następstwie którego postępuje produkcja odpadów i zużywanie zasobów.

¹³ *As architectural projects are determined by so many parameters, the definition of ‘Biomimetic Architecture’ as a new style or genre is not suitable. / Ponieważ projekty architek-*

uściślając, iż bardziej zasadne jest sformułowanie *design biomimetyczny* wskazujące na sposób postępowania architekta. P. Gruber wymienia *zasady designu natury* oraz *kryteria życia*, które postrzega jako aplikowalne w architekturze¹⁴.

W 2012 ukazał się artykuł A. Mengesa *Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design* (Menges, 2012). Autor kładzie w nim nacisk na biomimetyczne modelowanie samego procesu projektowego, robiąc znaczące rozróżnienie między biologicznie inspirowanymi produktami budowlanymi a faktyczną „biomimetyczną architekturą”¹⁵.

Na gruncie polskim w 2019 roku powstała praca doktorska J. Onyszkiewicza pt. *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym* (Onyszkiewicz, 2019), w której autor definiuje 10 cech biomimetycznego obiektu architektonicznego. Są to: optymalizacja formy — maksymalizacja funkcji, biomorfizm, efektywność konstrukcyjna, materiały biomimetyczne, zasada *cradle to cradle*, oszczędność energetyczna — energia pozyskiwana tylko ze źródeł odnawialnych, responsywność i adaptacja, racjonalna gospodarka wodą, ograniczenie emisji CO₂, ekologiczna urbanizacja.

Również w 2019 ukazał się tom pt. *Biomimetics for Architecture. Learning from Nature*, zawierający opracowanie *Functional, organic and biomimetic architecture* (de Bruyn i in., 2019), ukazujące potencjalny konflikt pomiędzy ideą biomimetyki a postrzeganiem architektury jako sztuki. W podsumowaniu pada stwierdzenie, że *pojęcie „architektura biomimetyczna” nie może być uzasadnione, dopóki wkład naukowy zaczerpnięty z biologii nie zostanie na drugim planie, a kwestią priorytetową nie będzie jego estetyczna transformacja w architekturę* (tłum. Autorka).

Po roku 2020 obserwujemy dużą ilość publikacji poświęconych zagadnieniu aplikacji biomimetyki w architekturze, m.in. w czasopiśmie „Biomimetics”: *Biomimicry in Architecture* (Verbrugghe, Rubinacci i Khan, 2023) *Applications of Biomimicry in Architecture, Construction and Civil Engineering* (AlAli i in., 2023), czy *Bio-logic, a review on the biomi-*

metic application in architectural and structural design (Dixit, Stefańska, 2023). W publikacjach tych powtarzają się te same stwierdzenia: biomimetyka polega nie na reprodukcji formy, lecz na naśladowaniu reguł i zasad funkcjonowania natury, inspiracja biologiczna odbywa się na 3 poziomach — naśladowanie budowy żywych organizmów, ich zachowań oraz funkcjonowania ekosystemów, biomimikra jest ściśle połączona z nurtem zrównoważonego rozwoju (Nasir, Kamal, 2022).

W roku 2022 ukazał się artykuł pt. *Forcing biological sciences into architectural design* (Vitalis, Chayaamor-Heil, 2022). Autorzy zauważają, że *idea biomimetycznej architektury jest problematyczna*, ponieważ projektowanie nie jest działalnością naukową i podporządkowanie go biologii daje efekt *nie do końca architektoniczny*. Według L. Vitalisa koncepcyjne nieporozumienie działa tu w dwie strony, ponieważ zarówno *zmuszanie architektury do bycia nauką*, jak i *zmuszanie biologii do bycia architekturą* powoduje wypaczenia i utratę części znaczeń i jakości w obu dziedzinach.

4. PROBLEMY ARCHITEKTURY BIOMIMETYCZNEJ

Termin „biomimetyka” pojawił się w latach 50. XX wieku, kiedy bioinżynier i fizyk Otto Schmitt nazwał w ten sposób swoje badania nad stworzeniem syntetycznego nerwu wzorowanego na systemie nerwowym ośmiornicy (Chayamoor-Heil, 2023). Pojęcie „biomimikra” jest późniejsze, zostało wprowadzone przez Janine Benyus w rozprawie *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature* wydanej po raz pierwszy w roku 1997 (Benyus, 2002) i w jej interpretacji ma znaczenie szersze niż tylko wzorowanie się na budowie organizmów żywych przy konstruowaniu użytecznych dla człowieka przedmiotów i urządzeń. Benyus opisuje ideę biomimikry jako czerpanie inspiracji z natury dla rozwiązania ludzkich problemów. Zdaniem Benyus, natura posiadając 3,8 miliona lat ewolucyjnego doświadczenia w optymalizacji wszelkich procesów, powinna być traktowana jako mentor, model i miara we wszystkich dziedzinach działalności człowieka. *Jest więcej do odkrycia niż do wynalezienia* — to zdanie jest szczególnie istotne, ponieważ przenosi akcent ze strefy kreatywnej na ściśle badawczą. Obecnie w literaturze dominuje tendencja, aby pojęcie biomimetyka łączyć z translacją naukową form, funkcji i procesów naturalnych w celu innowacji technologicznej, zaś biomimikra skupia się na połączeniu z naturą w kontekście inspiracji i edukacji oraz postuluje wzorowanie się

toniczne są zdeterminowane przez tak wiele parametrów, definicja „architektury biomimetycznej” jako nowego stylu lub gatunku nie jest właściwa.

¹⁴ Są to: otwartość, samoorganizacja, przetwarzanie informacji, ograniczenie, porządek, propagacja (autopojetyka), wzrost, przetwarzanie energii, reaktywność, homeostaza, ewolucja.

¹⁵ Efektem biomimetycznego procesu projektowego powinna być heterogeniczna architektura odpowiadająca na złożone, często przeciwstawne wymagania.

na naturze na poziomie ekosystemów, na pierwszy plan wysuwając ideę zrównoważenia. W dalszej części opracowania Autorka posługuje się pojęciem „architektura biomimetyczna”, ponieważ jest ono najbardziej popularne, jednak w rozumieniu szerszym, ujmując w jego zakresie całe spektrum postulowanych cech i idei łączonych z obydwoma terminami.

Implementacja idei biomimetyki i biomimikry do architektury napotyka na kilka zauważonych przez badaczy problemów. Podstawowym są ograniczenia zewnętrzne, czyli środki finansowe i przepisy prawa. Obecnie badania biomimetyczne wymagają ogromnych nakładów finansowych, co sprawia, że są one nieosiągalne dla większości osób i instytucji inwestujących w architekturę. Drugą kategorią są problemy z samym procesem translacji. Wątpliwości budzi kwestia identyfikacji i wyboru zjawisk z natury — czy architekci powinni brać pod uwagę tylko organizmy żywe, czy też przyrodę nieożywioną oraz fizyczne prawa rządzące wszechświatem? Istoty biologiczne funkcjonują w hierarchicznych strukturach o dużym poziomie złożoności, a specyficzne właściwości materiałów naturalnych zależą od ich budowy na poziomie komórkowym, co rodzi pytanie, jak głęboko ma sięgać imitacja, aby właściwie naśladować funkcjonalność (Aamer i in., 2020). Łączy się z tym problem skali, czyli niemożność odtworzenia pewnych procesów w większej formie (Stefańska, Cygan, 2022). Kłopotliwa może być także kwestia integracji cząstkowych rozwiązań zaczerpniętych z różnych kontekstów w jeden projekt (Marques de Oliveira, 2019). Ostatnim — i najważniejszym w kontekście tego opracowania — wyzwaniem biomimetycznej architektury jest jej interdyscyplinarny charakter, czyli konieczność znalezienia wspólnej płaszczyzny dwóch dziedzin, z których jedna jest nauką (biologia), a druga sztuką i inżynierią (projektowanie architektoniczne).

Jak zauważa Vitalis, natura jawi nam się empirycznie, ale sama w sobie nie uczy, w koncepcji biomimetyki ludzie inspirowani są swoim zrozumieniem natury, ukształtowanym przez współczesną kulturę technologiczną oraz jej naukowym opisem, czyli biologią. Cele nauki i projektowania są zupełnie odmienne, nauka startuje z pozycji emancypacji wobec rzeczywistości (hipoteza) i do niej wraca (dowód naukowy). Projektowanie jako przejaw działalności artystycznej może zaczynać od rzeczywistości, ale ostatecznie się z niej emancypuje poprzez akt kreacji. Ten właśnie problem — zdaniem Autorki — leży u podstaw antagonistycznego stosunku koncepcji architektury biomimetycznej wobec tradycyjnego rozumienia architektury jako sztuki.

5. KONFRONTACJA IDEI BIOMIMETYKI Z TRADYCYJNYM POSTRZEGANIEM ARCHITEKTURY

5.1. Forma

W historii architektury rozróżnienie oraz wzajemna relacja formy i funkcji obiektu odgrywają bardzo istotną rolę. W ciągu stuleci poprzedzających słynne zdanie *Form Follows Function* sformułowane przez Louisa Sullivana, forma w architekturze była traktowana jako *nośnik idei*, a więc wartość odrębna od funkcji wynikającej z *praktycznej konieczności* (Hendrix, 2012). Kształtowanie utylitarnej struktury budynku według narzuconych potrzeb funkcjonalnych traktowano jako czynność podrzędną wobec kreowania formy — ocenianej według kryteriów stosowanych w odniesieniu do sztuki. Forma służyła także reprezentacji, zarówno w architekturze sakralnej (obrazowała chwałę bóstwa), jak i świeckiej, będąc wyrazem prestiżu inwestora. Zgodnie z zasadą *decorum* forma musiała być stosowna do funkcji pod względem jej rangi. Dwudziestowieczny dyskurs architektoniczny zdominowała modernistyczna idea o jedności formy i funkcji. Forma wynikać miała z funkcji i odzwierciedlać ją w strukturze budynku. Nawet mimo tego znaczącego przesunięcia akcentu architekci nie porzucili konceptu estetycznego znaczenia formy i jej roli jako ekspresji — konkretnej idei, ludzkiej kondycji, indywidualności twórcy.

Zagadnienie postrzegania formy w historii architektury jest bardzo obszerne i nie ma możliwości jego wyczerpania w tym miejscu, należy jednak zasygnalizować kilka terminów, z którymi pojęcie formy łączy się w tradycyjnym i historycznym postrzeganiu. Należą do nich między innymi:

- estetyka;
- reprezentacyjność;
- ekspresja;
- indywidualizm i oryginalność.

W ciągu stuleci architekci wielokrotnie inspirowali się przyrodą w kształtowaniu form, m.in. w ornamentyce, detalu, ale także np. sylwetce całego budynku (il.1). Taki przejaw odwoływania się do natury współcześni autorzy nazywają biomorfizmem, dystansując go wyraźnie od biomimetyki, polegającej na kopiowaniu technologicznego modelu natury, a nie tylko wyglądu, czyli samej formy bez zrozumienia funkcji, konstrukcji i działania. Koncepcja architektury biomimetycznej w swojej radykalnej postaci odrzuca wszystkie wymienione powyżej tradycyjne aspekty formy architektonicznej i proponuje zupełnie odmienne jej postrzeganie. W naturze forma jest pochodną funkcji i jest nierozzerwalnie związana ze strukturą. Ewentualny aspekt estetyczny obiektu

tów naturalnych jest zawsze wynikiem lub narzędziem określonej funkcjonalności. Nie ma tu więc miejsca na estetyczny formalizm bądź na ekspresję czegokolwiek innego niż funkcja. W naturze można zaobserwować wyraźną tendencję do standaryzacji i powtarzalności — zjawisk będących następstwem procesu optymalizacji, jednocześnie przeciwnych pojęciom indywidualizmu i oryginalności. Zasada optymalizacji formy i maksymalizacji funkcji jest jedną z podstawowych idei architektury biomimetycznej. Według tej koncepcji forma obiektu architektonicznego nie jest jego samodzielną wartością, jest całkowicie podporządkowana funkcji oraz konstrukcji. Według J. Onyszkiewicza biomorfizm może występować, aby podkreślić naturalne źródło inspiracji, nie ma tu jednak miejsca na ekspresję indywidualności twórcy lub dążenie do estetyki *per se*, nieuzasadnionej funkcjonalnie. Co szczególnie ważne w koncepcji architektury biomimetycznej, forma obiektu architektonicznego powinna być responsywna, czyli reagować na zmieniające się czynniki zewnętrzne oraz autopojetyczna, czyli zdolna do samodzielnego wzrostu (replikacji). Idea *designu strukturalnego* odrzuca sam nacechowany indywidualizmem akt kreowania formy przez architekta. Celem jest „odnalezienie” strukturalnie optymalnych kształtów, czyli tzw. *form finding*. Forma architektoniczna staje się wynikiem badania, a architekt — „managerem” nadzorującym interdyscyplinarny proces jej poszukiwania. Forma optymalna w ujęciu biomimetycznym, to oczywiście forma zintegrowana w ekosystemie, co prowadzi do sformułowanego w pracy L. Badarnah nowego postulatu biomimikry — *Form Follows Environment* (Badarnah, 2017).

5.2. Materiał

W tradycyjnym postrzeganiu architektury materiały podzielić można na budowlane (konstrukcyjne) i wykończeniowe. Wybór tych pierwszych jest kwestią głównie technologiczną, tych drugich — decyzją pozostającą w sferze artystycznej wizji architekta. Materiały budowlane często pozostają ukryte pod wykończeniowymi. Dominują materiały o strukturze homogenicznej i łatwo opisywalnych właściwościach. Kryteriami doboru materiałów są zarówno ich parametry — właściwości fizyczne i chemiczne, oceniane pod kątem funkcjonalności, wygody obróbki i montażu oraz trwałości w użytkowaniu, jak również względy czysto estetyczne, prestiżowe, a także niejednokrotnie symbolika zawarta w niektórych tworzywach i kolorach. W historii architektury względy reprezentacji często przeważały nad ekonomicznymi, kiedy zamiast korzystać

z lokalnych surowców sprowadzano kosztowne materiały z odległych miejsc, tak aby świadczyły o zamożności i prestiżu inwestora.

Koncepcja architektury biomimetycznej narzuca zupełnie odmienne podejście do zagadnienia materiału. Podstawową zasadą jest minimalizacja. Przyroda dąży do tego, aby osiągnąć maksimum efektywności przy minimum zużycia materiału. Podobnie w architekturze — efektywność konstrukcyjna powinna iść w parze z oszczędnością materiałową. Materiał w naturze nie jest dobierany, ale wynika z funkcji i formy. Stąd w koncepcji biomimetycznej nie ma miejsca na materiały wykończeniowe, które nie pełnią funkcji konstrukcyjnych i służące wyłącznie celom estetycznym. Projektowanie zgodnie z logiką natury odrzuca kwestie estetyki na rzecz racjonalizmu w gospodarowaniu zasobami. Materiał jest przy tym oceniany wyłącznie według kryteriów utylitarnych i ekologicznych — powinien być nietoksyczny i biodegradowalny według zasady *cradle to cradle*, wytwarzany niskotemperaturowo lub pozyskiwany lokalnie, tak aby zminimalizować koszty transportu. Zgodnie ze strategią tzw. „ekologii materiałowej” najważniejszym zadaniem tworzywa budowlanego jest powiązanie projektowanego obiektu ze środowiskiem. Stąd istotną i pożądaną cechą materiałów biomimetycznych jest ich wielofunkcyjność oraz responsywność. W koncepcji architektury biomimetycznej materiałem budowlanym może być praktycznie każde tworzywo, które spełnia wymienione powyżej kryteria. Prowadzone są eksperymenty w zakresie wykorzystania biomateriałów, nanomateriałów oraz tworzyw o strukturze komórkowej (np. wzorowanej na plastrze miodu, budowie kości, piankowej, warstwowej)¹⁶. Rozwój nowoczesnych addytywnych technologii konstrukcyjnych, w tym druku 3D, umożliwia wyjście poza ograniczony repertuar materiałów tradycyjnie kojarzonych z budownictwem i wykorzystanie niestandardowych tworzyw imitujących złożone adaptatywne struktury naturalne, dopasowanych indywidualnie do danego obiektu i jego funkcjonowania w środowisku.

5.3. Proces twórczy

Projektowanie architektoniczne to w tradycyjnym rozumieniu proces o dwóch składowych: kreatywne działanie twórcy oraz uwarunkowania inwestycyjne. Uwarunkowania i ograniczenia mogą hamować artystyczną ekspresję architekta lub wręcz

¹⁶ Wśród niestandardowych materiałów budowlanych wymienić można np. niejedwabną, biodegradowalną kompozycję bambusową, tworzywa wzmocnione włóknami węglowymi, utwardzony piasek, robotycznie nawijane włókna szklane.

przeciwnie — stymulować ją prowokując do poszukiwania nowych rozwiązań. Działanie architekta to jednocześnie rozwiązywanie problemów i tworzenie nowych wartości o cechach dzieła sztuki. Im lepsza korelacja tych dwóch czynników, tym bardziej wartościowe dzieło powstaje, jednocześnie realizujące zadane funkcje, jak i stanowiące wyróżniający się obiekt o walorach artystycznych.

Proces powstawania projektu architektonicznego możemy więc podzielić na fazę „inżynierską” — czyli znajdowanie rozwiązań dla zadanych problemów i kryteriów oraz fazę artystyczną, w której architekt wyraża swoją indywidualność kształtując formę obiektu, nadając jej walor ekspresyjny, symboliczny lub kontekstualny. W przypadku, gdy faza kreatywna nie występuje, mamy najczęściej do czynienia z budownictwem, które nie jest rozpatrywane w kategoriach dzieła sztuki.

Podejście biomimetyczne zmienia całkowicie percepcję projektowania architektonicznego. Proces twórczy traci swój zindywidualizowany charakter. Konieczność współpracy interdyscyplinarnej między biologami, architektami, specjalistami w zakresie technologii materiałów, oprogramowania i innych dziedzin powoduje, że każdy projekt staje się dziełem zbiorowym. Główny nacisk położony jest na fazę koncepcyjną, w której odbywa się rozwiązywanie zadanych problemów poprzez poszukiwanie analogii w świecie natury. Proces ten nie byłby możliwy, gdyby nie rozwój mocy obliczeniowej komputerów oraz technologii projektowania parametrycznego, dlatego też następuje daleko posunięta hybrydyzacja procesów automatycznych i działań ludzkich, przy czym wkład człowieka polega na określeniu celu oraz warunków projektu. Koncepcja biomimetyczna zakłada przejście od projektowania jako procesu twórczego bazującego na wiedzy, doświadczeniu i indywidualnej wizji architekta, do projektowania komputerowego opartego o metody abstrahowania, modelowania, symulacji i optymalizacji. Projektowanie architektoniczne nie jest tutaj kształtowaniem — kreowaniem kompletnej skończonej formy obiektu materialnego, ale poszukiwaniem optymalnego sposobu jego funkcjonowania i budowaniem przyszłej relacji między „żyjącym” budynkiem a środowiskiem.

Zdaniem A. Mengesa, aby budynek mógł być biomimetyczny, proces projektowy musi być biomimetyczny. W naturze miejsce kreacji *ex nihilo* zajmuje ewolucja. Ortodoksyjne podejście do idei naśladowania procesów naturalnych, ich istoty i mechanizmów, prowadzi prosto do odrzucenia procesu twórczego. Jego miejsce zajmuje ewolucyjne poszukiwanie form optymalnych dla zadanych funk-

cjonalności. W koncepcji architektury biomimetycznej pojawia się więc pojęcie *designu ewolucyjnego* (Malkowsky i in., 2019), w którym nowe warianty formalne są tworzone komputerowo poprzez permutacje i kombinacje cyfrowych „genomów”. Wzorem selekcji naturalnej, każde pojawiające się rozwiązanie jest ewaluowane według przyjętych kryteriów i tylko najlepsze przechodzą do kolejnych etapów procesu. Tradycyjny proces projektowania, uwzględniający kreatywną ekspresję architekta, zastępuje morfogeneza (Roudavski, 2009). Obiekt kształtuje się więc sam i ewoluuje według przyjętych kryteriów funkcjonalnych. Narzędzia cyfrowe, służące tradycyjnie prezentacji i przeliczeniu wizji architekta na konkretne parametry, w tym przypadku pełnią rolę generatywną dla powstania pożądanej formy i jej późniejszych transformacji. P. Gruber zauważa, że zwyczajowy proces projektowania architektonicznego wykazuje również podobieństwa do ewolucji i selekcji naturalnej, ponieważ dokonuje się proces wyboru najlepszego rozwiązania spośród alternatywnych propozycji. Jednak przeniesienie tego procesu w środowisko wirtualne i oparcie go na procedurach algorytmicznych prowadzą nieuchronnie do dysocjacji projektanta i czynności projektowania, a w konsekwencji do architektury autogeneratywnej.

5.4. Cel dzieła

Ze wszystkich sztuk wizualnych architektura jest bez wątpienia najbardziej „praktyczna”, czyli służąca zaspokojeniu ludzkich potrzeb. Architektura organizuje i kształtuje bezpieczną i przyjazną przestrzeń dla większości wykonywanych przez człowieka czynności, pozwalając ludziom funkcjonować nawet w niesprzyjających warunkach klimatu i naturalnego otoczenia. W ciągu stuleci rozwój architektury stał się formą manifestu rozwoju cywilizacyjnego i z pierwotnej funkcji schronienia dzieła budowlane awansowały do rangi symboli obecności człowieka i jego aktywności. Jako dzieło sztuki obiekt architektoniczny może dostarczać wrażeń estetycznych, być nośnikiem idei lub symboliki w kontekście miejsca i jego historii. Wyróżniające się obiekty architektury o szczególnie oryginalnej i wartościowej artystycznie formie stają się ikonami, służącymi wizualnej identyfikacji i promocji miejscowości, regionów i krajów.

Koncepcja biomimetyki zmienia ten antropocentryczny punkt widzenia architektury. Celem jest bowiem tworzenie obiektów jak najbardziej zintegrowanych z naturą. Budynki mają być przede wszystkim wartościowe ekologicznie i socjologicznie, i takie też są główne kryteria ich postrzegania oraz oceny. Dzieło architektury ma być wzorowane na żyjących organizmach, a więc funkcjonować w eko-

systemie, reagować i adaptować się do zachodzących w nim zmian. W tym rozumieniu celem architektury nie jest już kreowanie wartości estetycznych lub symbolicznych. Budowany obiekt nie ma się wyróżniać w swoim otoczeniu, lecz powinien służyć symbiotycznemu połączeniu człowieka i jego aktywności ze środowiskiem. Idea minimalnego wpływu architektury na ekosystem może obejmować nie tylko kwestie zużycia zasobów i obiegu energii, ale także samej wizualnej obecności budynku. Prowadzi to do pojawienia się postulatów tworzenia „architektury niewidzialnej”¹⁷. J. Onyszkiewicz pisze, że nie jest istotne, aby architektura była *spektakularna* — *ważne jest natomiast aby była ona lokalnie zaangażowana. Aby jej działanie nie wpływało negatywnie na środowisko* (Onyszkiewicz, 2019).

Według koncepcji *designu regeneratywnego* budynek biomimetyczny ma funkcjonować w zamkniętym cyklu *cradle to cradle*. Wzorem i źródłem inspiracji dla architektów mogą być habitaty zwierząt lub budownictwo wernakularne. Można więc stwierdzić, że ideałem jest tutaj powrót architektury do jej pierwotnych źródeł, do architektury tworzonej bez architektów, z pominięciem wszystkich pozafunkcjonalnych celów stawianych jej w ciągu kilku stuleci w kolejnych etapach rozwoju.

6. WNIOSKI

Architektura tradycyjnie zaliczana jest do sztuk wizualnych, a więc łączona z pojęciami wykraczającymi poza aspekty praktyczne, takimi jak kreatywność, oryginalność, estetyka. Jako dziedzina sztuki jest jednocześnie najbliższa człowiekowi i najsilniej ingeruje w środowisko naturalne. Można powiedzieć, że to architektura przekształciła środowisko naturalne w środowisko człowieka. Idea biomimikry w swojej istocie zakłada niejako zjawisko powrotne, czyli pełną asymilację architektury w ekosystemie. Jak wynika z powyższej analizy, koncepcja architektury biomimetycznej staje w opozycji wobec tradycyjnego postrzegania architektury we wszystkich opisanych aspektach:

- a) forma jest całkowicie podporządkowana funkcji, celem jest „znalezienie” formy optymalnej, z odrzuceniem walorów estetycznych, symbolicznych i ekspresyjnych;
- b) kryteria doboru materiałów są wyłącznie użytkowe i ekologiczne. Brak materiałów niepowiązanych z konstrukcją;

c) biomimetyczny proces projektowy jest w pełni zobiektywizowany, oparty na ewolucyjnych algorytmach, pozbawiony aspektów indywidualizmu i kreatywności;

d) celem budowli jest jak najlepsza relacja ze środowiskiem. Architektura zostaje podporządkowana aspektom ekologicznym, społecznym i ekonomicznym, zgodnym z zasadami zrównowżenia.

Traktowanie idei biomimetyki jako faktycznej manifestacji architektonicznej wydaje się w świetle omówionych powyżej kwestii problematyczne. Architektura biomimetyczna, która zaimplementuje wszystkie te zasady, może przestać być postrzegana jako dziedzina sztuki. Podejście radykalnie biomimetyczne bez wątplenia prowadzi więc do przewartościowania samego pojęcia architektury (Januszkiewicz, Gołębiewski, 2020), a architekci muszą zdecydować, czy chcą kontynuować praktykowanie sztuki, czy zwrócić się w stronę nauki. Od momentu wejścia w erę nowoczesną twórcy architektury ciągle mierzą się z próbami podważania swojego kreatywnego autorytetu, a koncepcja biomimetyki wydaje się kulminacją tej tendencji. Implementacja biomimetyki w architekturze powoduje, że dziedzina ta zostaje potraktowana tak samo jak medycyna czy chemia, a architekci nie wiedzą, czy powinni się zaangażować w działalność naukową i do jakiego stopnia podporządkować jej swoją praktykę projektową. Projektowanie to obszar procesów heurystycznych, bardziej niż poszukiwanie właściwego działania natury racjonalnego optimum.

Autorzy artykułu *Functionalist, organic, and biomimetic architecture* odnotowują, że infiltracja architektury przez naukę daje pewien zysk, ale również pociąga za sobą ofiary. W tym przypadku architektura traci znaczącą część swojej tożsamości. Ludzie są bez wątpienia częścią natury, a jednak się w niej wyróżniają, przejawiając nie tylko potrzeby racjonalne, ale też irracjonalne, jak chociażby potrzeba indywidualnej ekspresji i doznań estetycznych. Architektura powinna pozostać wyrazem wszystkich tych potrzeb.

7. PODSUMOWANIE

Na chwilę obecną większość eksperymentów biomimetycznych pozostaje zamknięta w ośrodkach akademickich. Powstające tam konstrukcje architektoniczne nazywane biomimetycznymi, to najczęściej niewielkich rozmiarów eksperymentalne pawilony demonstracyjne.

Seria takich pawilonów powstała — począwszy od roku 2011 — na Uniwersytecie w Stuttgarcie

¹⁷ P. Gruber pisze w tym kontekście o twórczości londyńskiego studia Future Systems, projektującego domy ukryte pod ziemią.

w kooperacji badaczy z Institute for Computational Design (ICD) pod kierunkiem A. Mengesa oraz Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) pod kierunkiem J. Knippersa, z udziałem biologów i paleontologów. Każdy z tych obiektów skupia się na transferze pojedynczego biomimetycznego zagadnienia, konstrukcyjnego lub materiałowego, ze świata natury do projektowania, np. Rosenstein Pavilion (il. 2) charakteryzuje niezwykle lekka konstrukcja nośna inspirowana budową muszli ślimaków¹⁸.

Innym przykładem jest Silk Pavilion z 2013 zaprojektowany przez zespół Mediatel Matter pod kierunkiem Neri Oxmana, będący kopułą z nici utkanej przez żywe jedwabniki na stelażu z poligonalnych paneli. Tego rodzaju pawilony są obiektami bardzo zaawansowanymi badawczo i technologicznie, a ich głównym zadaniem jest testowanie i prezentacja poszczególnych biomimetycznych rozwiązań.

Zagadnienie praktycznych możliwości i realnych perspektyw szerszej implementacji biomimetyki w architekturze (w tym architekturze polskiej) wymaga osobnego opracowania, podobnie jak mało przebadane dotychczas zagadnienie obecności idei biomimikry we współczesnej urbanistyce. Na obecną chwilę biomimetyka jest ściśle powiązana z zaawansowaną technologią, czerpiąc z nowoczesnych odkryć w zakresie materiałów, konstrukcji oraz addytywnych i modułowych metod fabrykacji, również silnie inspirując i napędzając ich rozwój.

W konsekwencji radykalnych postulatów oparcia się na logice natury, automatyzacji i swoistej dehumanizacji ulega także sam proces twórczy, przenoszony w środowisko wirtualne i oparty na procedurach algorytmicznych. Wydaje się, iż naturalnym następstwem tego procesu może być zastąpienie osoby architekta przez sztuczną inteligencję, której zadaniem byłaby kompleksowa analiza wszystkich uwarunkowań danego projektu i zadanie optymalnych kryteriów dla morfogenetycznego algorytmu. Jest rzeczą znaną, iż postulowany w teorii biomimetyki ideologiczny powrót do pierwotnych praw natury jest tutaj tak silnie powiązany z wysokim zaawansowaniem technologicznym cywilizacji człowieka i oparty o jej najnowsze zdobycze. Pytanie — Czy w perspektywie przyszłości zawód architekta-twórcy zostanie

zastąpiony przez zaawansowane systemy projektowe oparte na AI? — pozostaje otwarte.

L. Vitalis analizuje budynek często przedstawiany w literaturze jako wczesny przykład rozwiązań biomimetycznych, czyli Eastgate Centre w Harare, zauważając, iż naśladując system wentylacji kopców termitów, obiekt ten naśladuje nie samą naturę, ale konstrukcję zbudowaną przez zwierzęta, czyli ich technologię (il. 3–4). Zdaniem autora to właśnie artefakty budowane przez żywe stworzenia wydają się być lepszym źródłem inspiracji dla architektury niż same organizmy. Biomimetyka niewątpliwie może służyć jako narzędzie architektury, dostarczając jej technologicznych komponentów, takich jak np. systemy fasadowe reagujące na zmienne warunki atmosferyczne lub biomateriały o określonych właściwościach. Koniecznością współczesności jest również położenie nacisku na aspekt ekologiczny, zgodnie z ideą biomimikry dbając o właściwe funkcjonowanie architektury w ekosystemie pod względem zużycia surowców naturalnych i emisji CO₂. Aby architektura mogła utrzymać swoje miejsce pośród dziedzin sztuki, inspiracja naturą nie może jednak prowadzić do odrzucenia dbałości o formę i wszelkich pozafunkcyjnych celów. L. Vitalis pisze o *biomimetyce niefunkcjonalistycznej*, w której model biologiczny może zostać wzbogacony o formy, wyobrażenia i symbolikę, stanowiące część architektonicznego *know-how*.

Zadaniem architekta jest połączenie otwartości na możliwość aplikacji rozwiązań biomimetycznych z zachowaniem pewnego sceptycyzmu, ponieważ wiele rzeczy, których uczymy się od natury, musi pozostać metaforycznych. Za każdym obiektem architektury, traktowanym jako dzieło sztuki, powinien stać biorący za nie odpowiedzialność autor, łączący wiedzę oraz świadomość społeczną i ekologiczną z wyobraźnią i kreatywnością.

REFERENCES

- Aamer, H. et al. (2020), 'Biomimicry as a Sustainable Design Methodology for Building Behaviour', *Engineering Research Journal*, 1(46), pp.191–201. Available at: <http://dx.doi.org/10.21608/erjsh.2020.268153> (accessed: 8.11.2024).
- AlAli, M. et al. (2023), 'Applications of Biomimicry in Architecture, Construction and Civil Engineering', *Biomimetics*, 8(2), pp.1–22. Available at: <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020202> (accessed: 8.11.2024).
- Badarnah, L. (2017), 'Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation', *Buildings* 7(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings7020040> (accessed: 8.11.2024).

¹⁸ Rosenstein Pavilion zaprojektowany został na wystawę „Baubionik — biologie beflügelt architektur” w Muzeum Historii Naturalnej w Stuttgarcie (2017–2018) przez zespół Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design (prof. W. Sobek), Institute for Control Engineering of Machine Tools and Manufacturing Units (prof. A. Verl), German Institute of textile and Fibre Research (prof. Götz T. Gresser).

- Benyus, J. (2002), *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*, New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Chayamor-Heil, N. (2023), 'From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges', *Encyclopedia*, 3(1), pp. 202–223. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/encyclopedia3010014> (accessed: 8.11.2024).
- de Bruyn, G. et al. (2019), 'Functionalist, organic and biomimetic architecture' [in:] Knippers, J., Schmid, U., Speck T. (eds.), *Biomimetics for Architecture. Learning from Nature*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, pp. 172–178.
- Dixit, S., Stefańska, A. (2023), 'Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design', *Ain Shams Engineering Journal*, 14(1), pp.1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101822> (accessed: 8.11.2024).
- Gruber, P. (2011), *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*, Wien: Springer-Verlag.
- Hendrix, J. (2012), 'Theorizing a contradiction between form and function in architecture', *South African Journal of Art History*, 27(1), pp.9–28.
- Januszkiewicz, K., Gołębiewski, J. (2020), 'Climate change-oriented design: Living on the water. A new approach to architectural design', *Journal of Water and Land Development*, 47(4), pp. 96–104. Available at: <http://dx.doi.org/10.24425/jwld.2020.135036> (accessed: 8.11.2024).
- Malkowsky, Y. et al. (2019), 'Evolutive approaches to explorative design methods in architecture' [in:] Knippers, J., Schmid, U., Speck, T. (eds.), *Biomimetics for Architecture. Learning from Nature*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, pp. 134–141.
- Marques de Oliveira, M.J. (2019), *Towards a Bio-Shading System Concept: Design Methodology*, doctoral dissertation, Lisboa: ISTAR-IUL, ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa.
- Menges, A. (2012), 'Biomimetic design processes in architecture: Morphogenetic and evolutionary computational design', *Bioinspiration and Biomimetics*, 7(1). Available at: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/015003> (accessed: 8.11.2024).
- Nasir, O., Kamal, M.A. (2022), 'Inspiration from Nature: Biomimicry as a Paradigm for Architectural and Environmental Design', *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10(3), pp.126–136. Available at: <http://dx.doi.org/10.12691/ajcea-10-3-3> (accessed: 8.11.2024).
- Onyszkiewicz, J. (2019), *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym. Ewolucja i interpretacja bioniki na przykładzie polskich i zagranicznych konkursów architektonicznych*, doctoral dissertation, Wrocław: Politechnika Wrocławska, s.20.
- Pawlyn, M. (2011), *Biomimicry in Architecture*, London: RIBA Publishing.
- Roudavski, S. (2009), 'Towards Morphogenesis in Architecture', *International Journal of Architectural Computing*, 7(3). Available at: <http://dx.doi.org/10.1260/147807709789621266> (accessed: 8.11.2024).
- Stefańska, A., Cygan, M. (2022), 'Bionic Patterns in Search of Analytical Models to Build Structural Forms of Ephemeral Architectural Objects' [in:] Komar, B. (ed.), *Multifaceted Research in Architecture*, IV, [INTERFERENCES] design+art+science, ed. Bąba-Ciosek, N., Kucharczyk-Brus, B., Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, pp. 81–89.
- Verbrugghe, N., Rubinacci, E., Khan, A.Z. (2023), 'Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods', *Biomimetics*, 8(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010107> (accessed: 8.11.2024).
- Vitalis, L., Chayaamor-Heil, N. (2022), 'Forcing biological sciences into architectural design: On conceptual confusions in the field of biomimetic architecture', *Frontiers of Architectural Research*, 11(2), pp. 179–190. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.10.001> (accessed: 8.11.2024).