



Architecture
and town planning
Quarterly

Kwartalnik architektury
i urbanistyki



Architecture
and town planning
Quarterly
Kwartalnik architektury
i urbanistyki

2/2025
tom LXX
ISSN 2543-154X
ISSN e012-9596

Ewa Kuhnert, *Bioinnowacje jako źródło inspiracji dla współczesnej architektury*, „Kwartalnik Architektury i Urbanistyki”, t. LXX, 2025, z. 2, s. 90–103

Ewa Kuhnert, *Bio-Innovation as a Source of Inspiration for Contemporary Architecture*, "Architecture and Town Planning Quarterly", vol. LXX, 2025, no. 2, pp. 90–114 [English version pp. 104–114]

DOI: 10.17388/WUT.2025.0060.ARCH

Artykuł dostępny na licencji Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0

This article is available under a Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 license



Bioinnowacje jako źródło inspiracji dla współczesnej architektury

Ewa Kuhnert, mgr inż. arch.
Wydział Architektury
Politechnika Warszawska

Ewa Kuhnert, MSc Arch.
Faculty of Architecture
Warsaw University of Technology

Streszczenie

Od wielu lat rozwiązania zaczerpnięte z natury znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach nauki, a obecnie wiedza biologiczna stanowi także źródło inspiracji dla pracy twórczej. W dziedzinie architektury procesy obserwowane w naturze przenoszone są na grunt projektowy, oferując nowe perspektywy, narzędzia i wywierając wpływ na metodologię pracy. Do obszaru projektowania nauki biologiczne przenikają pod „bio” pojęciami, takimi jak: biomimetyka, biomimikra, bionika, biofilia czy biomorfizm, które razem reprezentują szersze zagadnienie bioinnowacji. Chociaż w naukach technicznych istnieją precyzyjne definicje i klasyfikacje wymienionych „bio” pojęć, wyzwaniem pozostaje ich bezpośrednie przełożenie na sztuki projektowe ze względu na konieczność równoczesnego uwzględnienia aspektów estetycznych, użytkowych i technologicznych. Skutkuje to niedostatecznym zrozumieniem i uporządkowaniem tych terminów w dziedzinie architektury. Artykuł jest próbą precyzyjnego zdefiniowania i rozróżnienia funkcjonujących w architekturze „bio” pojęć, w celu identyfikacji poszczególnych nurtów w projektowaniu inspirowanym biologią. W pierwszej części pracy przeanalizowano występujące w literaturze definicje i je uporządkowano. W drugiej części wykonano analizy czterech projektów, czerpiących z różnych dyscyplin biologicznych, takich jak: neurobiologia, mykologia, biochemia i botanika.

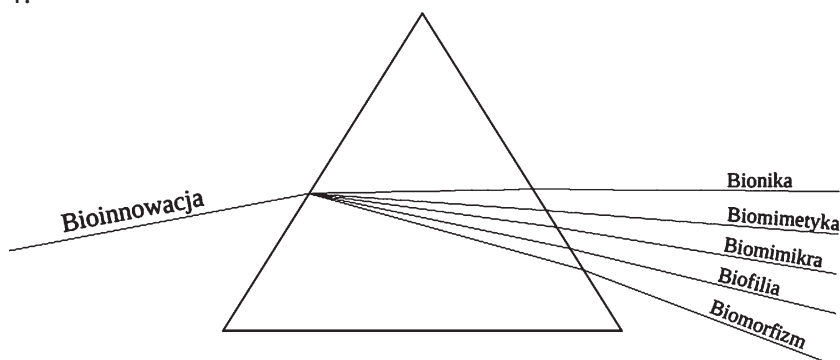
Słowa kluczowe

innowacja | natura | bioinnowacja |
interdyscyplinarność | procesualność

Wstęp

Rozpoznanie zagadnienia, jakim jest bioinnowacja, kieruje naszą uwagę ku jego wieloaspektowości, którą można ukazać przez pryzmat rozmaitych dziedzin badawczych i myśli o charakterze filozoficzno-teoretycznym. Wszystkie one prowadzą nas w stronę różnych pojęć z przedrostkiem *bio-*. Wśród tych, które przenikają w obszar architektury wymienić można między innymi: bionikę, biomimetykę, biomimikrę, biofilie, biomorfizm (il. 1). Transferowi temu towarzyszy szybki rozwój technologiczny, który prowadzi do powstawania nowych powiązań między architekturą a biologią. Chociaż szukanie inspiracji w formach naturalnych od zawsze miało miejsce w pracy projektowej, to dziś, oprócz podobieństw formalnych, architekci odkrywają także podobieństwa procesualne, czemu sprzyja coraz silniejsze sprzężenie świata biologii ze światem techniki, wykraczające daleko poza kwestie materiałowe

1.



1. Pryzmat bioinnowacji. Opr. autorka, 2025

1. The prism of bioinnovation. Elaborated by the author, 2025

czy technologiczne¹. Kieruje to uwagę projektantów ku koncepcjom, które do tej pory były poza zasięgiem warsztatowym, a niekiedy również wykraczały poza ich wyobraźnię. Rezultatem są oryginalne projekty, mające źródło między innymi w latach 80. XX wieku i ówczesnych post-biologicznych koncepcjach Donny Haraway², biolożki i działaczki feministycznej, najbardziej znanej z *Manifestu cyborga*³, w którym wskazywała na zacieranie się granic między człowiekiem, technologią i naturą. Podjęta w niniejszym tekście próba identyfikacji „bio” pojęć i powiązania ich z architekturą stanowi odpowiedź na niejednoznaczne i często błędne używanie tych terminów, a także brak wyraźnego rozróżnienia znaczeń, co rodzi potrzebę ich uporządkowania w kontekście bioinspirowanych projektów, które zazwyczaj łączą cechy dwóch lub więcej nurtów. Wypełnienie tej luki badawczej ma na celu wsparcie rozwoju spójnej terminologii, co ułatwi identyfikację wzorców projektowych i głębsze zrozumienie innowacyjnych rozwiązań.

Pojęcie bioinnowacyjności

Podstawą każdej analizy jest zdefiniowanie pojęć – w niniejszym artykule mamy do czynienia z terminem bioinnowacja, składającym się z dwóch członów. Pierwszy – „bio” – wywodzi się z języka greckiego i w bezpośrednim tłumaczeniu oznacza „życie”; jego zakres choć szeroki, jest dość oczywisty i nie wymaga rozwinięcia. Drugi człon – „innowacja” – pochodzi od łacińskiego *innovare*, co oznacza odnowić lub wprowadzić coś nowego. Współczesna interpretacja pojęcia sięga połowy ubiegłego stulecia, kiedy termin ten został wchłonięty przez sektor gospodarczy⁴. W konsekwencji do pomiaru zagadnień innowacyjnych zaczęto używać kategorii ekonomicznych, zabrakło natomiast kwestii twórczych i projektowych odnoszących

¹ R. Achramowicz, E. Kuhnert, *Biology as a source of inspiration for architectural innovations*, w: *Defining the architectural space – architecture and technology*, t. 3, red. T. Kozłowski, Kraków 2024, s. 7–18.

² Donna Haraway (ur. 1944) – amerykańska filozofka, biolożka i teoretyczka kultury. Jej główne zainteresowania to feminizm, posthumanizm, studia nad stosunkiem ludzi do maszyn, a esej *Manifest cyborga* stał się jednym z ważniejszych wydarzeń w świecie filozofii ostatnich dekad. Stanowił refleksję o cyborgu jako istocie uwolnionej z okowów płci.

³ D.J. Haraway, *A manifesto of cyborgs: Science, technology, and socialist feminism in the 1980s*, „Socialist Review”, 1985, t. 15, s. 65–108, https://monoskop.org/images/4/4c/Haraway_Donna_1985_A_Manifesto_for_Cyborgs_Science_Technology_and_Socialist_Feminism_in_the_1980s.pdf (dostęp: 05.11.2024).

⁴ *Podręcznik Frascati. Proponowane procedury standardowe dla badań statystycznych w zakresie działalności badawczo-rozwojowej*, red. J. Witecka, Warszawa 2006, s. 34.

się do architektury (takich jak komfort, kontekst, funkcja itd.). Na potrzeby przeprowadzonego badania przyjmijmy ogólną definicję, zgodnie z którą aktywność innowacyjna ma na celu zwiększenie zasobów wiedzy oraz wykorzystanie ich do tworzenia nowych zastosowań⁵. Zatem pojęcie „bioinnowacja” można zdefiniować jako wykorzystanie wiedzy na temat struktur i procesów naturalnych do inspiracji dla innowacyjnych rozwiązań technologicznych, naukowych i projektowych.

W historii dostrzec można przejawy interdyscyplinarnego wykorzystania nauk przyrodniczych. Czerpana z nich wiedza stanowiła podstawę dla rozwoju innowacyjnej myśli w różnych dziedzinach. Przykładem są badania nad dziedziczeniem cech roślin, które jako pierwszy opisał zakonnik i przyrodnik Grzegorz Mendel w połowie XIX wieku. Czterdzieści lat później rozwinął je lekarz William Bateson, proponując pojęcie „genetyka”, a na początku dwudziestego wieku biolog i matematyk D’Arcy Thompson wykazywał, że ewolucja jest fundamentalnym wyznacznikiem formy i struktury organizmów żywych w kartezjańskich deformacjach⁶. Za nieodległe w czasie źródło interdyscyplinarności w kontekście projektowym można uznać teorię *korrealizmu* zaproponowaną przez Friedricha Kieslera w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia⁷. Wprowadzeniem w życie teorii miał być biomorficzny habitat – *Endless House*, który miał funkcjonować niczym organizm. Z kolei współczesną kontynuacją tego sposobu myślenia są koncepcje rozwijane w latach 80. i 90. XX w. między innymi przez teoretyków architektury Roya Ascotta⁸ oraz Neila Spillera⁹, którzy badali zacieśniające się związki między ciałem, percepcją a technologią w kontekście modelu organicznego w projektowaniu.

Stan badań

W literaturze naukowej spotykamy wiele „bio” pojęć, z których na potrzeby analizy przypadków realizacji architektonicznych najbardziej przydatnych jest pięć następujących: bionika, biomimetyka i biomimikra, biomorfizm i biofilia. Trzy pierwsze spajają biologię z techniką¹⁰, a dwóm ostatnim bliżej do filozofii i sztuki niż do nauk ścisłych¹¹. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę i historię analizowanych pojęć.

Bionika – nauka łącząca biologię i inżynierię, zajmuje się przenoszeniem zasad funkcjonowania organizmów żywych do techniki. W literaturze fachowej pojęcie bioniki jest szczegółowo zdefiniowane.

Termin został stworzony w 1958 roku przez amerykańskiego lekarza i pułkownika lotnictwa Jacka Steele’a w celu określenia dyscypliny łączącej biologię

⁵ Ibidem.

⁶ D.W. Thompson, *On growth and form*, Cambridge 1917.

⁷ A. Sachs, *Nature design. From inspiration to innovation*, Baden 2007, s. 170.

⁸ R. Ascott, *The architecture of cyberception*, „Architectural Design”, 1995, nr 65/11–12, s. 118.

⁹ N. Spiller, *Leaving Nadir*, „Architectural Design”, 1996, nr 66/9–10, s. 123.

¹⁰ A. Iouguina, J.W. Dawson, B. Hallgrímsson, G. Smart, *Biologically informed disciplines: A comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others*, „International Journal of Design & Nature and Ecodynamics”, 2014, t. 9/3, s. 197–205.

¹¹ S.R. Kellert, *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*, Hoboken 2008.

i nauki techniczne (ang. *biology + electronics = bionics*), a po raz pierwszy oficjalnie użyty w 1960 roku podczas sympozjum w Stanach Zjednoczonych¹². Bionika bada organizmy żywe w ujęciu mechanistycznym i znajduje możliwości zastosowania rozwiązań zaczerpniętych z natury między innymi w medycynie, robotyce, informatyce. U podstaw projektowania bionicznego leży przekonanie, że nawet najprostsze systemy biologiczne przewyższają pod względem efektywności wszelkie rozwiązania stworzone do tej pory przez człowieka¹³.

Biomimetyka – nauka zajmująca się badaniem oraz naśladowaniem struktur, procesów i zachowań, zachodzących w świecie natury, a następnie przenoszeniem ich na grunt techniki.

Biomimikra – interdyscyplinarne badania, polegające na obserwacji organizmów żywych i przenoszeniu ich umiejętności adaptacji do obszaru projektowego, co umożliwia tworzenie innowacyjnych i ekologicznie zrównoważonych rozwiązań systemowych.

Powyższe dwa pojęcia – biomimetyka i biomimikra – wywodzą się ze starogreckiego *mimesis* (Μίμησις), oznaczającego przedstawienie, imitację lub podobieństwo. W ujęciu klasycznym rozróżniano trzy obszary znaczeniowe *mimesis*¹⁴: 1. formalne naśladownictwo kształtów natury; 2. tworzenie formy na podstawie elementów natury; 3. naśladownictwo procesów naturalnych przy użyciu dostępnych narzędzi, wiedzy i technologii. Chociaż oba pojęcia mają wspólne źródło etymologiczne, traktowane są przez badaczy różnorodnie. Biomimetykę jedni utożsamiają z bioniką, akcentując jej techniczno-inżynierski charakter, inni zaś zbliżają do biomimikry, podkreślając inspirację naturą i proekologiczne projektowanie¹⁵. Najważniejsze pozostaje jednak uwydatnienie jej procesualnego charakteru, co pozwala na odróżnienie jej od bioniki, a także zwrócenie uwagi na zaawansowanie technologiczne rozwiązań, co wyróżnia ją także na tle biomimikry.

Biomimikra natomiast reprezentuje podejście projektowe, które w architekturze ma przede wszystkim charakter ideologiczny. Chociaż podobnie jak biomimetyka polega na obserwacji organizmów żywych i przenoszeniu ich umiejętności adaptacji na grunt techniki, skupia się bardziej na inspiracji naturą w skali makro, czyli dążeniu do odwzorowania w budynku reguł i sposobu funkcjonowania ekosystemów¹⁶. Z uwagi na różnice opisane powyżej, w badaniu pojęcia rozpatruje się odmiennie, bowiem niejednokrotnie różnią się kontekstem, zakresem i celami.

Biofilia – wrodzona ludzka potrzeba kontaktu z naturą i innymi formami życia.

¹² A. Iouguina, J.W. Dawson, B. Hallgrímsson, G. Smart, *Biologically Informed Disciplines: A Comparative Analysis of Bionics, Biomimetics, Biomimicry, and Bio-Inspiration Among Others*, „International Journal of Design & Nature and Ecodynamics”, 2014, t. 9, nr 3, s. 201.

¹³ *Encyklopedia Britannica – edycja polska*, t. 4, red. W. Wolarski, Poznań 1998, s. 266.

¹⁴ W. Tatarkiewicz, *Mimesis*, w: *Dictionary of the History of Ideas*, red. P.G. Wiener, t. 3, New York 1973, s. 225–230.

¹⁵ B. Clegg, *Biomimetics: How Lessons from Nature can Transform Technology*, London 2023.

¹⁶ J.J. Białkiewicz, *Biomimetyka i biomimikra jako narzędzie i ideologia we współczesnej architekturze*, „Architectus”, 2024, nr 3.

Biomorfizm – stosowanie w projektowaniu form, kształtów i struktur inspirowanych naturą, w tym organicznych i nieregularnych wzorców występujących w przyrodzie.

W dalszej części analizy pojęcia biomorfizm i biofilia zostały oddzielone od wcześniejszych terminów, ponieważ ze względu na swój filozoficzny charakter bliżej im do nauk o relacji człowieka z naturą w ujęciu humanistycznym niż do dyscyplin inżynierskich¹⁷. Biomorfizm pochodzi od greckiego *bios* i *morphe*, co oznacza kolejno „ludzkie życie” oraz „kształt”¹⁸. Po raz pierwszy wzmianka o biomorfizmie pojawiła się pod koniec XIX wieku w książce Alfreda Cort Haddona *Ewolucja w sztuce*, gdzie autor twierdził, że „źródłem wszelkiego ornamentu są dekoracyjnie przekształcone formy naturalne”¹⁹. W kontekście architektury współczesnej termin ten można odnosić do opisu organicznych form, odzwierciedlających fascynację biologicznymi strukturami. Odmienność tego terminu od poprzednich zasadza się na twórczym – artystycznym przekształceniu „form” natury, bardziej niż adaptowaniu „twardych”, laboratoryjnych badań.

Ostatni omawiany termin – biofilia – sformułowany został po raz pierwszy w latach 60. XX w. przez filozofa Ericha Fromma²⁰, następnie rozwijany w kolejnych dekadach przez biologa Edwarda Wilsona. Podkreśla wrodzone przywiązanie człowieka do natury, wskazując na emocjonalną i psychologiczną potrzebę kontaktu z przyrodą, która ma pozytywny wpływ na dobrostan człowieka²¹. W odniesieniu do architektury możemy mówić o przestrzeni, która sprzyja dobrej kondycji psychicznej człowieka poprzez zbliżenie do natury.

Mimo że terminologia ta jest dobrze rozpoznana, podlega systematycznym uzupełnieniom, co wynika z dynamicznego rozwoju badań interdyscyplinarnych łączących architekturę, inżynierię oraz nauki biologiczne.

Omawiana problematyka poruszana jest ostatnio między innymi w artykule *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem rozwiązań bionicznych*²², w którym ukazano możliwości implementacji zasad bioniki w projektowanie struktur konstrukcyjnych. Podobnie zagadnienie opisują również autorzy rozpraw doktorskich, w tym między innymi pracy *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*²³, stanowiącej istotny wkład w rozwój teorii i praktyki projektowania fasad bioinspirowanych oraz *Elementy biomimetyki*

¹⁷ J. Söderlund, P. Newman, *Biophilic Architecture: A Review of the Rationale and Outcomes*, „AIMS Environmental Science”, 2015, t. 2, nr 4, s. 950–969; G. Grigson, *The Arts Today*, London 1935, s. 71–109.

¹⁸ A. Agkathidis, *Biomorphic Structures: Architecture Inspired by Nature (Form + Technique)*, London 2017, s. 9.

¹⁹ A.C. Haddon, *Evolution in Art*, London 1895, s. 121.

²⁰ E. Fromm, *Love of death and love of life The Heart of Man: its Genius for Good and Evil*, New York 1964.

²¹ E. Wilson, *Biophilia*, Cambridge (MA) 1984.

²² A. Torberntsson, H. Michalak, *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem wzorców ze świata przyrody*, „Przegląd Budowlany”, 2023, t. 94, nr 5/6, s. 29–33.

²³ A. Nowak, *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*, rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem prof. Wiesława Rokickiego na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej (WAPW), Warszawa 2017, mps dostępny w Bibliotece WAPW.

w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym²⁴, która systematyzuje wiedzę o bionice i biomimetyce, analizując zarówno krajowe, jak i zagraniczne konkursy architektoniczne. W literaturze światowej ostatnich lat coraz wyraźniej podkreślany jest zarówno szeroki zakres inspiracji biologicznych w projektowaniu, jak i ich aplikacyjny potencjał, czego przykładem jest między innymi *Architecture Follows Nature. Biomimetics principles for innovative design*²⁵, której autorka ukazuje, w jaki sposób biologiczne mechanizmy adaptacji u zwierząt wykorzystywane są w projektowaniu. *Biomimetics for designers. Applying nature's processes & material in the real world*²⁶ podejmuje z kolei zagadnienie *mimesis* w architekturze i skierowana jest bezpośrednio do projektantów i studentów wzornictwa. Pośród licznych artykułów wymienić można takie, które skupiają się na wybranym aspekcie – na przykład na materiałach – w tekście *Smart materials and new technologies: For the architecture and design professions*²⁷ lub na procesach technologiczno-produkcyjnych przyjaznych środowisku, wymagających nie tylko nowych metod i technik, lecz także zmiany roli projektanta i sposobu myślenia, czego przykładem jest artykuł *Designing from place: A regenerative framework and methodology*²⁸. W dyskursie nad zrównoważonym rozwojem udział bierze również praca *Performance-oriented architecture: Rethinking architectural design and the built environment*²⁹, która stanowi niezwykle interesujący głos w dyskusji nad kryzysem współczesnej architektury.

Przegląd dotychczasowych badań wskazuje nie tylko na rosnące znaczenie projektowania bioinspirowanego w architekturze, lecz także na potrzebę doprecyzowania i uporządkowania terminologii, co służyć ma pogłębionej analizie wybranych projektów z „bio” nurtu. Pierwsze trzy przywołane terminy: bionika, biomimetyka i biomimikra, choć często używane zamiennie, różnią się zarówno kontekstem, jak i celem stosowania. Wszystkie wymienione dziedziny łączy za to interdyscyplinarność oraz współpraca z naukami biologicznymi, stąd też w przypadku, gdy jednoznaczne określenie nurtu nie jest możliwe, należy podjąć próbę wskazania przejawianych tendencji projektowych.

Bioinnowacje – studium przypadku

Przywołane w niniejszym rozdziale przypadki stanowią przykłady realizacji bądź koncepcji, które wykraczają poza sztywne ramy definicji architektury, ukazując

²⁴ J. Onyszkiewicz, *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym*, rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem dr. hab. inż. Waldemara Bobera na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019, Dolnośląska Biblioteka Cyfrowa, <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/140767/edition/72670> (dostęp: 03.09.2025).

²⁵ I. Mazzoleni, *Architecture Follows Nature: Biomimetic Principles for Innovative Design*, New York 2013.

²⁶ W. Kapsali, *Biomimetics for designers. Applying nature's processes & material in the real world*, London 2021, s. 62.

²⁷ D.M. Addington, D. Schodek, *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, London 2004.

²⁸ P. Mang, B. Reed, *Designing from Place: A Regenerative Framework and Methodology*, „Building Research & Information”, 2011, t. 40, nr 1, s. 23–38.

²⁹ M. Hensel, *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, Chichester 2013.

obiekty jako dzieła zmienne w czasie – skupiają się na badaniu dynamicznych procesów zachodzących w przyrodzie i stanowią reprezentatywne przykłady implementacji wiedzy biologicznej do architektury. I choć ich bioinnowacyjność nie jest oczywista, bowiem pojedyncze elementy pojawiały się już wcześniej (pneumatyczne siłowniki, hodowla grzybni itd.), dzięki projektantom nabrały architektonicznego wydźwięku. Do ich tworzenia czerpano wiedzę z takich obszarów nauki jak: neurobiologia³⁰ (NSA Muscle), mykologia³¹ (Hy-Fi Tower), biochemia³² (PhotoSynthetica System) oraz botanika³³ (Dusty Relief). Omówione projekty, wybrane zostały na podstawie dwóch wytycznych: po pierwsze – potencjał innowacyjny, który znajduje odzwierciedlenie w interdyscyplinarności; po drugie – aktualność dzieła, która umożliwia pokazanie, jak bioinnowacje są interpretowane obecnie, w kontekście dyskusji o zrównoważonym rozwoju i przyszłości architektury. Wszystkie projekty powstały w XXI wieku.

1. *Dusty Relief* (2002)

Pierwszym omawianym przypadkiem jest *Dusty Relief* – projekt opracowany w 2004 roku przez Francois Roche'a wraz z grupą R&Sie(n) dla Muzeum Sztuki Współczesnej w Bangkoku³⁴. Inspiracją dla Francois Roche była fotografia Man Raya z 1920 roku pt. *Dust Breeding*, przedstawiająca pracę Marcela Duchampa zatytułowaną *The Large Glass*, która jest szybą pokrytą rocznym kurzem³⁵. O ile intencją Duchampa było włączenie naturalnych zjawisk do kreowania sztuki, o tyle Roche poszedł o krok dalej i podjął próbę powiązania architektury z procesami, jakie zachodzą w zanieczyszczonym środowisku miejskim. Analogicznie do roślin posiadających zdolność do wyłapywania zanieczyszczeń z powietrza³⁶, fasada obiektu została zaprojektowana tak, by dzięki porowatej powierzchni i nieregularnym kształtom ułatwić zatrzymywanie pyłu. Zjawisko to nadaje budynkowi zmienną w czasie formę – w efekcie to kurz ze smogu zbierający się na fasadzie w praktyczny sposób kształtuje ją. Koncept Roche porusza ważny w dzisiejszym świecie aspekt „zanieczyszczonej estetyki”³⁷, polemizując z tradycyjnymi metodami projektowymi, które zbyt rzadko

³⁰ Neurobiologia – gałąź nauk przyrodniczych, która bada anatomię, fizjologię oraz patologię układu nerwowego. Źródło: *Neurobiology*, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (dostęp 17.09.2025).

³¹ Mykologia – dział biologii zajmujący się badaniem grzybów (Fungi). Źródło: *Mycology*, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (dostęp 17.09.2025).

³² Biochemia – nauka zajmująca się chemią w organizmach żywych, a w szczególności biosyntezą, strukturą, stężeniem, funkcjami i przemianami substancji chemicznych w organizmach. Źródło: „Biochemistry”, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (dostęp 17.09.2025).

³³ Botanika – dział biologii zajmujący się roślinami, który obejmuje całokształt wiedzy o świecie roślin i zachodzących w nim zjawiskach. Źródło: „Botanika”, *Encyklopedia PWN*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/botanika;3879925.html> (dostęp 17.09.2025).

³⁴ Więcej o projekcie na stronie New Territories, <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm> (dostęp: 11.01.2025).

³⁵ D. Company, *Man Ray and Marcel Duchamp: Dust Breeding 1920*, <https://davidcompany.com/dust-breeding-man-ray-1920/> (dostęp: 29.12.2024).

³⁶ A. Castanheiro, *Leaf accumulation of atmospheric dust: Biomagnetic, morphological and elemental evaluation using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS*, „Atmospheric Environment”, 2020, nr 221.

³⁷ F. Roche, *Dusty Relief*, „New-Territories”, 2002, <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm> (dostęp: 29.12.2024).

włączają procesy zachodzące w otaczającym nas środowisku (nie wykluczając nawet miejskiego kurzu) oraz prowokuje do refleksji nad związkami między człowiekiem, technologią i środowiskiem. *Dusty Relief* reprezentuje zatem głównie podejście projektowe z obszaru biomimetyki, przejawiającej się w inspiracji strukturami roślin oraz mechanizmami filtracji powietrza, które zostały wykorzystane do stworzenia koncepcji nieregularnej, porowatej powierzchni dla całego obiektu. Projekt przejawia również tendencje biofiliczne, nawiązując do natury w warstwie funkcjonalnej – dzięki zmienności w czasie; estetycznej – poprzez swój biomorficzny kształt.

2. *PhotoSynthetica System* (2018)

Następnym analizowanym przypadkiem jest fasada budynku pod nazwą *PhotoSynthetica System*, opracowana przez zespół naukowców z ecoLogicStudio³⁸. Projekt bada zagadnienie płynnych komponentów architektonicznych tworzonych na organicznych zawieszinach³⁹. Twórcy zaproponowali, aby zewnętrzną powłokę budynku stanowiły panele wypełnione żywymi organizmami, w których zachodzą procesy fotosyntezy. Zjawisko to obejmuje tak różne dziedziny, jak biologia, chemia czy fizyka, a badania prowadzone w tych obszarach pozwoliły w XVIII wieku Josephowi Priestleyowi⁴⁰ odkryć, że rośliny produkują tlen⁴¹. W przypadku *PhotoSynthetica System* do produkcji tlenu użyto mikroalg wyhodowanych w specjalnie stworzonych do tego celu fotobioreaktorach – przezroczystych, elastycznych panelach zintegrowanych z architekturą budynku, w których reakcje zachodzą automatycznie jako nieustanny proces biochemiczny. Ten proces biologiczny w połączeniu z cyfrowymi systemami kontroli działa jak ożywiona żaluzja, która filtruje światło słoneczne i barwi je na przyjazny dla użytkownika kolor zielony⁴². Produkcja tlenu jest kluczowym efektem eksperymentu, wiąże się bowiem z funkcją oczyszczania powietrza z dwutlenku węgla, co obecnie jest szczególnie pożądaną cechą w praktykach zrównoważonego projektowania. Ponadto biomasa algowa, która powstaje w tym procesie, może być później wykorzystywana do produkcji biopaliw, materiałów biodegradowalnych, a nawet jako pasza dla zwierząt⁴³. W tej wizji architektura nie stanowi już skonstruowanej przez człowieka drugiej natury – lecz staje się aktywnym uczestnikiem biotopu, redefiniuje dychotomie: natura-kultura, biologia-technologia. Reprezentuje praktyki projektowe głównie z obszaru biomimetyki, ponieważ wdraża w architekturę całe systemy inspirowane naturą. W samym zamyśle natomiast można dostrzec elementy biomimikry, bowiem zamiast metaforycznego naśladownictwa form ma miejsce

³⁸ Więcej o projekcie na stronie ecoLogicStudio, <https://www.ecologicstudio.com/projects/photosynth-etica> (dostęp: 11.01.2025).

³⁹ I.I. Voda, *Fluidity and Entropy in Contemporary Architecture: Chaos between Space-Time and Matter-Energy*, w: *With(Out) Trace: Inter-Disciplinary Investigations into Time, Space and the Body*, Leiden 2015.

⁴⁰ E. Kingston, *Joseph Priestley*, Internet Encyclopedia of Philosophy, <https://iep.utm.edu/priestly/> (dostęp: 27.06.2018).

⁴¹ J. Priestley, *Experiments and observations on different kinds of air*, Cambridge 2013, s. 52.

⁴² C. Pasquero, M. Poletto, T. Greskova, *Photosynthetic architecture in times of climate change and other global disruptions*, w: *Anthropologic – Architecture and Fabrication in the Cognitive Age: Proceedings of the 38th eCAADe Conference*, t. 1, 2020, s. 573–582.

⁴³ V.C. Eze, M. Agblevor, A. Oyedun, *Biochemical conversion of algal biomass into biofuels*, „Biofuels, Bioproducts and Biorefining”, 2018, nr 12/5, s. 904–917.

funkcjonalne odzwierciedlenie biologicznego procesu, co odpowiada jednej z podstawowych definicji pojęcia⁴⁴. Dzięki wykorzystaniu technologii cyfrowej mamy również w niewielkim stopniu do czynienia z komponentem bionicznym.

3. *Hy-Fi Tower* (2014)

Kolejny przykład bazuje na procesach zachodzących w grzybni. Grzyby jako organizmy o unikalnej budowie były przedmiotem wielu badań w historii, zarówno w kontekście ich struktury, jak i funkcji. Spośród wielu prac wymienić można między innymi prace biologki Lynn Margulis na temat symbiozy między organizmami, w której autorka dostrzegła powiązania między grzybami a innymi formami życia w ekosystemie⁴⁵. Architektoniczną interpretacją tych badań są cegły na bazie *mycelium*, z których David Benjamin w 2014 roku zaprojektował *Hy-Fi* – dwunastometrową konstrukcję ukazującą możliwości, jakie oferują współczesnemu budownictwu naturalne procesy zachodzące w grzybni⁴⁶. Z technicznego punktu widzenia *Hy-Fi* oparta jest na procesie formowania bloczków, które wypełniają uprzednio przygotowany szkielet. Do łączenia elementów nie stosuje się tradycyjnych spoiw czy klejów, a zamiast tego formuje w taki sposób, aby cegły ściśle do siebie przylegały, co znacznie upraszcza proces montażu i demontażu. Materiał budowlany uzyskany w procesie naturalnego wzrostu ma szereg zalet, takich jak szybkość produkcji, niski koszt, a także biodegradowalność. Cegły z grzybni mogą być kompostowane, a następnie wykorzystane w lokalnych ogrodach⁴⁷. Ponieważ kompozyty na bazie grzybni powstają z użyciem powszechnie dostępnych zasobów, ich wygląd i tekstura jest zróżnicowana w zależności od uprawy oraz obróbki po zakończeniu wzrostu – co ostatecznie wpływa na estetykę obiektów. Koncept ten proponuje nową definicję rodzimego materiału, którego pełen cykl: narodzin, rozwoju i śmierci, odbywa się w lokalnym otoczeniu, co wpisuje się w ideę projektowania biofilnego, odbywającego się w zgodzie z naturą i będącego jej częścią. Projekt odwołuje się do biomimetycznych zasad projektowania, które w tym przypadku polegają na translacji procesów biologicznych w materiały i formy architektoniczne. Brak jest natomiast elementów bionicznych, gdyż koncepcja skupia się przede wszystkim na funkcji materiału i jego zrównoważonym charakterze.

4. *NSA Muscle* (2003)

Studium przypadków kończy pawilon wystawienniczy *NSA Muscle* autorstwa Kaasa Oosterhuisa⁴⁸. W tym projekcie możemy dostrzec odniesienia do badań botanicznych nad komunikacją roślin w leśnym ekosystemie⁴⁹. Analogicznie *NSA*

⁴⁴ J.M. Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York 1997.

⁴⁵ L. Margulis, *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*, New York 1998.

⁴⁶ Więcej informacji o projekcie na stronie Holcim Foundation for Sustainable Construction, <https://www.holcimfoundation.org/projects/hy-fi> (dostęp 11.01.2025).

⁴⁷ D. Benjamin, Reinventing the brick, w: Fourth Holcim Award – Sustainable Construction 2014/2015, Switzerland 2014, s. 61–65, <https://d1f6o4licw9har.cloudfront.net/flip/A15/A15Book/HTML/index.html> (dostęp: 11.05.2024).

⁴⁸ Więcej informacji na stronie <https://www.oosterhuis.nl/nsa-muscle-centre-pompidou-paris/> (dostęp 11.01.2025).

⁴⁹ I. Baldwin, J. Schultz, *Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: Evidence for communication between plants*, „Science”, 1983, nr 221, s. 277–279.

Muscle, miał stanowić jedno ogniwo łańcucha składającego się z wielu tego typu obiektów. Wielość pawilonów tworzyłaby swoisty ekosystem w postaci cybernetycznej sieci, w obrębie której następowałaby wymiana danych z otoczeniem. Głównym zamysłem architekta było ożywienie struktury pawilonu przy pomocy responsywnego systemu. Obiekt reagowałby na sygnały z otoczenia⁵⁰, a jego działanie byłoby oparte na biotechnologiach, leżących u podstaw kształtowania odczuwającej architektury⁵¹. Z takim podejściem mieliśmy do czynienia już trzydzieści lat temu w *Saltwater Pavilion*, tam jednak Oosterhuis zaproponował iluzijną immersję opartą na grze światła, dźwięków i mgły. Natomiast w przypadku *NSA Muscle* architekt poszedł o krok dalej, w stronę fizycznej zmienności obiektu, który zbudowany jest z 72 pneumatycznych siłowników, tworzących unikalny architektoniczny mięsień. Jego ruch polega na kurczeniu i rozciąganiu w odpowiedzi na bodźce zadane przez użytkowników i pochodzące z czujników umieszczonych w powłoce – skórze pawilonu. Integruje on kwestie przestrzenne z biomechanicznymi i cyfrowymi, czym odzwierciedla koncepcję post-biologiczną zaszczerpioną w kulturze między innymi przez Donnę Harraway, prognozującą symbiozę człowieka z techniką jako ostateczny punkt, ku któremu zmierza ewolucja⁵². Podsumowując, można powiedzieć, że pawilon jest wzorcowym przykładem architektury bionicznej, bowiem skupia się na mechanicznej i funkcjonalnej innowacyjności, typowej dla bioniki.

Bioinnowacje: wnioski, płynące z przeprowadzonego badania

Systematyzacja dotychczasowych definicji i ujęć terminów z przedrostkiem *bio-* wraz z analizą przeprowadzonych studiów przypadków wskazuje, że projekty bioinnowacyjne rzadko dają się jednoznacznie zakwalifikować do pojedynczej kategorii; przeciwnie, zazwyczaj sytuują się one na styku dwóch lub więcej obszarów określanych mianem „bio”, łącząc w sobie cechy charakterystyczne dla różnych nurtów (tab. 1). Spośród badanych przykładów kwestię projektowania bionicznego najdogłębniej podejmuje *NSA Muscle* – eksploruje relacje zachodzące na styku architektury, biologii i intermedii, prowadząc architekturę ku cybernetyce. Mimo że inspiracje w przypadku tego projektu sięgają także biomimikry i biomimetyki, zasadniczy charakter tej nowatorskiej idei nadaje zaawansowana technologia, a nie elementy biosfery, jak w pozostałych przykładach. *NSA Muscle* reprezentuje, jak dzięki bionice zatarciu ulega granica między dotychczasowymi opozycjami: technosferą i biosferą, które w równym stopniu wkraczają w obręb architektury, powodując, że coraz wyraźniej porzuca ona sztywny, uporządkowany model na rzecz modelu wrażliwego, elastycznego, komunikującego się. Niższy poziom zaawansowania technologicznego, przy jednoczesnym wzroście zaangażowania biosfery ukazuje natomiast

⁵⁰ K. Oosterhuis, *Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture*, Basel 2003.

⁵¹ Idem, *Saltwater Pavilion*, 1997, <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hvph/saltwater-pavillion-project-pages.html> (dostęp: 16.12.2024).

⁵² S. Gennaro, D. Kellner, *Digital culture, media, and the challenges of contemporary cyborg youth*, w: *Bioinformational philosophy and postdigital knowledge ecologies*, red. M.A. Peters, P. Jandrić, S. Hayes, Cham 2022.



2. Analizowane przypadki – zestawienie. Oprac. autorka, 2025: a. Dustyrelief. Koncepcja. François Roche, 2002. Źródło: <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm>; b. Photosynthetica System. ecoLogicStudio. Źródło: www.bartlettdesignresearchfolios.com/media/folio_docs/Design-Research-ecoLogicStudio-Photosynthetic-Architecture.pdf; c. Hy-Fi Tower. Źródło: <https://www.dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/>; d. NSA Muscle. Kaas Oosterhuis. Źródło: www.researchgate.net/publication/220851112_Interactive_Environments_A_Multi-disciplinary_Approach_towards_Developing_Real-Time_Performative_Spaces

2. Cases analysed – summary. Elaborated by the author, 2025: a. Dustyrelief. Concept. François Roche, 2002. Source: <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm>; b. Photosynthetica System. ecoLogicStudio. Source: www.bartlettdesignresearchfolios.com/media/folio_docs/Design-Research-ecoLogicStudio-Photosynthetic-Architecture.pdf; c. Hy-Fi Tower. Source: <https://www.dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/>; d. NSA Muscle. Kaas Oosterhuis. Source: www.researchgate.net/publication/220851112_Interactive_Environments_A_Multi-disciplinary_Approach_towards_Developing_Real-Time_Performative_Spaces

projekt *PhotoSynthetica*. Bio-elewacja wypełniona mikroalgami, sprawia, że obiekt współżyje z otoczeniem. W tym przypadku możemy mówić o projektowaniu biometrycznym z elementami biomimikry i jednym ze stopni *mimesis*, jakim jest naśladowanie procesów zachodzących w naturze – w tym przypadku fotosyntezy. To symbiotyczne rozwiązanie integrujące technologię z naturalnymi procesami redefiniuje relacje między architekturą a ekosystemami – płynna mieszanka zamknięta w bio-reaktorach może zostać wchłonięta przez biosferę np. jako pasza. W tę cyrkularność wpisuje się także *Hy-Fi* wieża wzniesiona z cegieł-grzybów, które rozwijają się, a następnie ulegają biodegradacji w zgodzie z naturalnym cyklem życia. Naśladując mechanizmy funkcjonujące w przyrodzie stanowi przejaw biomimetyki, a także realizuje filozofię projektowania biofilnego. Z kolei projekt *Dusty Relief* poziomem naśladowania procesów zachodzących w przyrodzie odzwierciedla nurt biomimetyki z elementami biomimikry, natomiast pod względem kształtu jest wzorcowym przykładem biomorfizmu. Kurz kształtuje zewnętrzną, samoistnie rosnącą powłokę, samą w sobie nieożywioną, lecz opartą na procesie zbierania pyłu z powietrza. Fasada obiektu obrazuje w ten sposób problemy związane z miejskim smogiem, przez co staje się aktywną częścią zurbanizowanego środowiska.

Nowatorskie idee obecne w przywołanych powyżej przypadkach mają jedno źródło inspiracji – nauki biologiczne, które w obszar projektowania przeniknęły pod „bio” pojęciami: bioniką, biomimikrą, biomimetyką, biofilia, czy biomorfizmem. W analizowanych obiektach możemy dostrzec cechy, dzięki którym architektura nabiera coraz większej elastyczności i adaptowalności, jak w przypadku bio-fasady *Photosynthetic System*, czerpiącej inspirację z biochemii lub „mykologicznej wieży” *Hy-Fi*. Zauważyć można także zdolność do responsywności oraz procesualności, czego przykładem jest „neurologiczna powłoka” *NSA Muscle* oraz „miejski odkurzacz” *Dusty Relief*.

Obszary bioinnowacji	Bionika	Biomimetyka	Biomimikra	Biofilia	Biomorfizm
Nazwa projektu					
<i>Dustysrelief</i> Francois Roche					
<i>PhotoSynthetica</i> ecoLogicStudio					
<i>Hy-Fi Tower</i> David Benjamin					
<i>NSA Muscle</i> Mitchell Joachim					

Tabela 1. Tabela prezentująca wyniki badań. Oprac. autorka, 2025

Podsumowanie

Podobnie jak światło białe ulega rozszczepieniu w pryzmacie na różnokolorowe spektrum, tak bioinnowacje, przepuszczone przez pryzmat analizy naukowej, dzielą się na różne „bio” nurty, ukazując wielowymiarowy charakter inspiracji naturą. Każde z tych zjawisk reprezentuje odrębne zagadnienie w szerokim spektrum powiązań architektoniczno-biologicznych, z którego architekci mogą czerpać inspiracje do tworzenia innowacyjnych rozwiązań. Analiza przypadków umożliwia powiązanie zidentyfikowanych „bio” pojęć z innowacjami architektonicznymi, co pozwala częściowo wypełnić lukę badawczą. Nowatorskim rezultatem transferu „bio” rozwiązań do obszaru projektowego jest niespotykana wcześniej zdolność do zmienności i różnorodności, kształtowanej przez dynamiczne warunki, na które wpływ mają w coraz większym stopniu procesy naturalne, bądź te imitujące naturę. W konsekwencji zmienia się charakter budowli, które przybierają formę otwartą, przyjmują postać zmiennego procesu. Obserwacja przemian zachodzących na styku architektury z biologią prowadzi do wniosku, że obecna we współczesnej nauce bioinnowacyjność jest źródłem inspiracji w architekturze. Na przykładzie przeanalizowanych przypadków widzimy, że bioinnowacyjność skutkuje pojawianiem się oryginalnych rozwiązań projektowych, które dotyczą tak wątków formalnych, jak i procesowych.

Bibliografia

- Achramowicz R., Kuhnert E., *Biology as a Source of Inspiration for Architectural Innovations*, w: *Defining the Architectural Space – Architecture and Technology*, t. 3, red. T. Kozłowski, Kraków 2024
- Addington D.M., Schodek D., *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, London 2004
- Agkathidis A., *Biomorphic Structures: Architecture Inspired by Nature*, Londyn 2017
- Ascott R., *The Architecture of Cyberception*, „Architectural Design”, 1995, nr 65/11–12
- Baldwin I., Schultz J., *Rapid Changes in Tree Leaf Chemistry Induced by Damage: Evidence for Communication Between Plants*, „Science”, 1983, nr 221
- Benyus J.M., *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York 1997
- Białkiewicz J.J., *Biomimetyka i biomimikra jako narzędzie i ideologia we współczesnej architekturze*, „Architectus”, 2024, nr 3, DOI: 10.37190/arc240310
- Company D., *Man Ray and Marcel Duchamp: Dust Breeding 1920*, <https://davidcompany.com/dust-breeding-man-ray-1920/>
- Castanheiro A., *Leaf Accumulation of Atmospheric Dust: Biomagnetic, Morphological and Elemental Evaluation Using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS*, „Atmospheric Environment”, 2020, nr 221, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117082
- Clegg B., *Biomimetics: How Lessons from Nature can Transform Technology*, London 2023
- Encyclopedia Britannica*, edycja polska, t. 4, red. W. Wolarski, Poznań 1998
- Eze V.C., Agblevor M., Oyedun A., *Biochemical Conversion of Algal Biomass into Biofuels*, „Biofuels, Bioproducts and Biorefining”, 2018, nr 12/5

- Fromm E., *Love of Death and Love of Life. The Heart of Man: Its Genius for Good and Evil*, New York 1964
- Gennaro S., Kellner D., *Digital Culture, Media, and the Challenges of Contemporary Cyborg Youth, Bioinformational Philosophy and Postdigital Knowledge Ecologies*, red. M.A. Peters, P. Jandrić, S. Hayes, Cham 2022
- Grigson G., *The Arts Today*, London 1935
- Haddon A.C., *Evolution in Art*, London 1895
- Haraway D.J., *A Manifesto of Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s*, „Socialist Review”, 1985, t. 15
- Hensel M., *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, Chichester 2013
- Iouguina A., Dawson J.W., Hallgrímsson B., Smart G., *Biologically Informed Disciplines: A Comparative Analysis of Bionics, Biomimetics, Biomimicry, and Bio-Inspiration Among Others*, „International Journal of Design & Nature and Ecodynamics”, 2014, t. 9/3, DOI: 10.2495/DNE-V9-N3-201-206
- Kapsali W., *Biomimetics for Designers. Applying Nature's Processes & Material in the Real World*, London 2021
- Kellert S.R., *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*, Hoboken 2008
- Margulis L., *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*, New York 1998
- Mang P., Reed B., *Designing from Place: A Regenerative Framework and Methodology*, „Building Research & Information”, 2011, nr 40/1, DOI: 10.1080/09613218.2012.621341
- Mitchell W.J., *Me++: The Cyborg Self and the Networked City*, Cambridge (MA) 2003
- Nowak A., *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*, rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem prof. Wiesława Rokickiego na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej (WAPW), Warszawa 2017, mps dostępny w Bibliotece WAPW
- Onyszkiewicz J., *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym*, rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem dr. hab. inż. Waldemara Bobera na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019, Dolnośląska Biblioteka Cyfrowa, <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/140767/edition/72670>
- Oosterhuis K., *Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture*, Basel 2003
- Oosterhuis K., *Saltwater Pavilion*, 1997, <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hvph/salt-water-pavillion-project-pages.html>
- Pasquero C., Poletto M., Greskova T., *Photosynthetic Architecture in Times of Climate Change and Other Global Disruptions*, w: *Anthropologic – Architecture and Fabrication in the Cognitive Age: Proceedings of the 38th eCAADe Conference*, 2020, t. 1
- Priestley J., *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Cambridge 2013
- Roche F., *Dusty Relief*, „New-Territories”, 2002, <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm>
- Sachs A., *Nature Design. From Inspiration to Innovation*, Baden 2007
- Söderlund J., Newman P., *Biophilic Architecture: A Review of the Rationale and Outcomes*, „AIMS Environmental Science”, 2015, nr 2/4, DOI: 10.3934/environsci.2015.4.950
- Spiller N., *Leaving Nadir*, „Architectural Design”, 1996, nr 66/9–10
- Tatarkiewicz W., *Mimesis*, w: *Dictionary of the History of Ideas*, red. P.G. Wiener, t. 3, New York 1973
- Thompson D.W., *On Growth and Form*, Cambridge 1917
- Torberntsson A., Michalak H., *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem wzorców ze świata przyrody*, „Przegląd Budowlany”, 2023, nr 94/5–6
- Voda I.I., *Fluidity and Entropy in Contemporary Architecture: Chaos Between Space-Time and Matter-Energy*, w: *With(Out) Trace: Inter-Disciplinary Investigations into Time, Space and the Body*, Leiden 2015, DOI: 10.1163/9781848884410_022
- Wilson E., *Biophilia*, Cambridge (MA) 1984

Bio-Innovation as a Source of Inspiration for Contemporary Architecture

Abstract

For many years, solutions drawn from nature have been applied in various fields of science, and today knowledge of biology is also a source of inspiration for creative work. In the field of architecture, processes observed in nature are transferred to design, offering new perspectives and tools, and influencing work methods. Biological sciences permeate the design field under 'bio' terms such as biomimetics, biomimicry, bionics, biophilia and biomorphism, which together represent the broader issue of bio-innovation. Although there are precise definitions and classifications of these 'bio' concepts in the technical sciences, translating them directly into the design arts remains a challenge due to the need to simultaneously consider aesthetic, functional and technological aspects. This results in an inadequate understanding and arrangement of these terms in the field of architecture. This article is an attempt to precisely define and differentiate the concepts used in 'bio' architecture, with a view to identifying particular streams in biology-inspired design. The first part of the article analyses the definitions found in the literature and puts them in order. The second part presents an analysis of four designs drawing from different biological disciplines such as neuroscience, mycology, biochemistry and botany.

Keywords innovation | nature | bio-innovation | interdisciplinarity | processuality

Introduction

Recognition of the issue of bio-innovation directs our attention towards its multifaceted nature, which can be shown through the lens of various research fields as well as philosophical and theoretical thoughts. They all lead us towards various concepts with the *bio*- prefix. Those that permeate the field of architecture include bionics, biomimetics, biomimicry, biophilia and biomorphism (Fig. 1). This transfer is accompanied by rapid technological development, which leads to new links between architecture and biology. Although the search for inspiration in natural forms has always been part of design work, today, in addition to formal similarities, architects are also discovering processual similarities, which is facilitated by the increasingly strong link between the world of biology and the world of technology, going far beyond material or technological matters.¹ This directs designers' attention towards concepts that have hitherto been outside their range of skills and tools and sometimes beyond their imagination. The results are original designs having their source, among other periods, in the 1980s and that period's post-biological concepts of Donna Haraway,² a biologist and feminist activist, best

¹ R. Achramowicz, E. Kuhnert, *Biology as a source of inspiration for architectural innovations*, in: *Defining the architectural space – architecture and technology*, vol. 3, ed. T. Kozłowski, Kraków 2024, pp. 7–18.

² Donna Haraway (born in 1944) – American philosopher, biologist and cultural theorist. Her main interests are feminism, posthumanism and the study of the relationship between humans and machines, and her essay *A manifesto of cyborgs* has become one of the most important developments in the world of philosophy in recent decades. It represented a reflection on the cyborg as a being freed from the shackles of gender.

known for her *A manifesto of cyborgs*,³ in which she pointed to the blurring of the boundaries between man, technology and nature. The attempt made in this text to identify 'bio' concepts and link them to architecture is a response to the ambiguous and often erroneous use of these terms, as well as the lack of a clear distinction between meanings, which raises the need to organise them in the context of bio-inspired designs that usually combine the characteristics of two or more streams. Filling this research gap is intended to support the development of a consistent terminology, which will facilitate the identification of design patterns and a deeper understanding of innovative solutions.

The concept of bio-innovation

The basis of any analysis is the definition of terms – in this article we are dealing with the term bio-innovation, which consists of two parts. The first, 'bio', is derived from Greek and in direct translation means 'life'; its scope, although broad, is quite obvious and needs no elaboration. The second part, 'innovation', comes from the Latin *innovare*, which means to renew or introduce something new. The modern interpretation of the term dates back to the middle of the last century, at which time the term was absorbed into the economic sector.⁴ Consequently, economic categories began to be used to measure innovation issues, while creative and design issues relating to architecture (such as comfort, context, function, etc.) were missing. For the purposes of this study, let us adopt the general definition that innovation activity is aimed at increasing knowledge and using it to create new applications.⁵ Thus, the

term 'bio-innovation' can be defined as the use of knowledge about natural structures and processes to inspire innovative technological, scientific and design solutions.

Manifestations of the interdisciplinary use of natural sciences can be seen throughout history. The knowledge drawn from them formed the basis for the development of innovative thought in various fields. An example is the study of the heredity of plant traits, which was first described by the monk and naturalist Gregor Mendel in the mid-19th century. Forty years later they were developed by the physician William Bateson, who proposed the notion of 'genetics', and at the beginning of the twentieth century, biologist and mathematician D'Arcy Thompson showed that evolution was the fundamental determinant of the form and structure of living organisms in Cartesian deformations.⁶ A not-so-distant source of interdisciplinarity in a design context can be considered the theory of *correalism* proposed by Friedrich Kiesler in the 1950s.⁷ The implementation of the theory was to be a biomorphic habitat, *Endless House*, which was to function like an organism. The contemporary continuation of this way of thinking, on the other hand, is the concepts developed in the 1980s and 1990s by architecture theorists Roy Ascott⁸ and Neil Spiller⁹ who explored the tightening relationship between body, perception and technology in the context of the organic model of design.

State of research

In the scientific literature, we come across many 'bio' terms, of which, for the purpose of an analysis of cases of implementations in architecture, the following five are the most useful: bionics,

³ D.J. Haraway, *A manifesto of cyborgs: Science, technology, and socialist feminism in the 1980s*, "Socialist Review", 1985, vol. 15, pp. 65–108, https://monoskop.org/images/4/4c/Haraway_Donna_1985_A_Manifesto_for_Cyborgs_Science_Technology_and_Socialist_Feminism_in_the_1980s.pdf (accessed: 5.11.2024).

⁴ *Podręcznik Frascati. Proponowane procedury standardowe dla badań statystycznych w zakresie działalności badawczo-rozwojowej*, ed. J. Witecka, Warszawa 2006, p. 34.

⁵ Ibidem.

⁶ D.W. Thompson, *On growth and form*, Cambridge 1917.

⁷ A. Sachs, *Nature design. From inspiration to innovation*, Baden 2007, p. 170.

⁸ R. Ascott, *The architecture of cyberception*, "Architectural Design", 1995, no. 65/11–12, p. 118.

⁹ N. Spiller, *Leaving Nadir*, "Architectural Design", 1996, no. 66/9–10, p. 123.

biomimetics and biomimicry, biomorphism and biophilia. The first three tie together biology and technology,¹⁰ and the last two are closer to philosophy and art than to science.¹¹ Presented below is a brief overview and history of these concepts.

Bionics – a science combining biology and engineering, which deals with the transfer of the principles of living organisms to technology. The concept of bionics is defined in detail in the literature.

The term was coined in 1958 by American physician and Air Force Colonel Jack Steele to describe a discipline combining biology and technical science (biology + electronics = bionics), and was first officially used in 1960 at a symposium in the United States.¹² Bionics studies living organisms from a mechanistic perspective and finds opportunities to apply solutions drawn from nature in medicine, robotics and computer science, among other fields. At the heart of bionic design is the belief that even the simplest biological systems will outperform any man-made solution developed to date.¹³

Biomimetics – the science that deals with the study and imitation of structures, processes and behaviours that occur in the natural world, and then transferring them to technology.

Biomimicry – interdisciplinary research that involves observing living organisms and transferring their ability to adapt to the design field to create innovative and ecologically sustainable system solutions.

The above two terms – biomimetics and biomimicry – derive from the ancient Greek *mimesis* (Μίμησις), which means presentation, imitation or resemblance. The classical approach distinguished between three areas of meaning of *mimesis*:¹⁴ 1. The formal imitation of nature's shapes; 2. The creation of a form on the basis of nature's elements; and 3. The imitation of natural processes using available tools, knowledge and technology. Although both concepts share a common etymological source, they are treated by researchers in different ways. Biomimetics is equated by some with bionics, emphasising its technical and engineering nature, while others consider it to be closer to biomimicry, emphasising inspiration from nature and environmentally friendly design.¹⁵ Most important, however, is the highlighting of its processual nature, which allows it to be distinguished from bionics, and to focus on the technological sophistication of the solutions, which also sets it apart from biomimicry.

Biomimicry, on the other hand, represents a design approach that is primarily ideological in architecture. Although, like biomimetics, it is about observing living organisms and transferring their ability to adapt to technology, it focuses more on being inspired by nature on a macro scale, i.e. seeking to replicate in a building the rules and functioning of ecosystems.¹⁶ Due to the differences described above, the concepts are considered different in the study, as they often differ in context, scope and objectives.

Biophilia – the innate human need for contact with nature and other life forms.

Biomorphism – the use of nature-inspired forms, shapes and structures in design, including organic and irregular patterns found in nature.

¹⁰ A. Iouguina, J.W. Dawson, B. Hallgrimsson, G. Smart, *Biologically informed disciplines: A comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others*, "International Journal of Design & Nature and Ecodynamics", 2014, vol. 9/3, pp. 197–205.

¹¹ S.R. Kellert, *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*, Hoboken 2008.

¹² A. Iouguina, J.W. Dawson, B. Hallgrimsson, G. Smart, *Biologically Informed Disciplines: A Comparative Analysis of Bionics, Biomimetics, Biomimicry, and Bio-Inspiration Among Others*, "International Journal of Design & Nature and Ecodynamics", 2014, vol. 9, no. 3, p. 201.

¹³ *Encyklopedia Britannica – edycja polska*, vol. 4, ed. W. Wolarski, Poznań 1998, p. 266.

¹⁴ W. Tatarkiewicz, *Mimesis*, in: *Dictionary of the History of Ideas*, ed. P.G. Wiener, vol. 3, New York 1973, pp. 225–230.

¹⁵ B. Clegg, *Biomimetics: How Lessons from Nature can Transform Technology*, London 2023.

¹⁶ J.J. Białkiewicz, *Biomimetyka i biomimikra jako narzędzie i ideologia we współczesnej architekturze*, "Architectus", 2024, no. 3.

In the further part of the analysis, the terms biomorphism and biophilia have been separated from the terms discussed earlier because, due to their philosophical nature, they are closer to the sciences focusing on the relationship between humans and nature in humanistic terms than to engineering disciplines.¹⁷ Biomorphism is derived from the Greek *bios* and *morphe*, meaning 'human life' and 'shape', respectively.¹⁸ Biomorphism was first mentioned at the end of the 19th century in Alfred Cort Haddon's book *Evolution in Art*, where the author claimed that the source of all ornament is decoratively transformed natural forms.¹⁹ In the context of modern architecture, the term can be used to describe organic forms that reflect a fascination with biological structures. The difference between this term and previous terms is founded on the creative and artistic transformation of the 'forms' of nature, rather than the adaptation of 'hard' laboratory research.

The last term discussed, biophilia, was first formulated in the 1960s by philosopher Erich Fromm,²⁰ and then developed in the following decades by the biologist Edward Wilson. It emphasises man's innate attachment to nature, pointing to the emotional and psychological need for contact with nature, which has a positive impact on human well-being.²¹ As far as architecture is concerned, we can speak of a space that promotes human mental well-being by bringing people closer to nature.

Although the terminology is well recognised, it is subject to systematic additions as a result of the dynamic development of interdisciplinary research combining architecture, engineering

and the biological sciences.

The issues discussed herein have recently been addressed, among others, in the article entitled *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem rozwiązań bionicznych* [On the shaping of building structures using bionic solutions],²² which shows the possibilities of implementing bionic principles in the design of building structures. Similarly, the issue is also described by the authors of doctoral dissertations, including, among others, the work *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji* [Shaping bionic structural surfaces in the architecture of contemporary façades],²³ which is a significant contribution to the development of the theory and practice of designing bio-inspired façades, and *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym* [Elements of biomimetics in the design of architecture in a sustainable environment],²⁴ which systematises knowledge about bionics and biomimetics by analysing both national and international architectural competitions. The global literature of recent years has increasingly emphasised both the wide range of biological inspiration in design and its applied potential, as exemplified by, among others, *Architecture Follows Nature. Biomimetics principles for innovative design*,²⁵ whose author shows how

¹⁷ J. Söderlund, P. Newman, *Biophilic Architecture: A Review of the Rationale and Outcomes*, "AIMS Environmental Science", 2015, vol. 2, no. 4, pp. 950–969; G. Grigson, *The Arts Today*, London 1935, pp. 71–109.

¹⁸ A. Agkathidis, *Biomorphic Structures: Architecture Inspired by Nature (Form + Technique)*, London 2017, p. 9.

¹⁹ A.C. Haddon, *Evolution in Art*, London 1895, p. 121.

²⁰ E. Fromm, *Love of death and love of life The Heart of Man: its Genius for Good and Evil*, New York 1964.

²¹ E. Wilson, *Biophilia*, Cambridge (MA) 1984.

²² A. Torberntsson, H. Michalak, *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem wzorców ze świata przyrody*, "Przegląd Budowlany", 2023, vol. 94, no. 5/6, pp. 29–33.

²³ A. Nowak, *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*, doctoral dissertation written under the supervision of Prof. Wiesław Rokicki at the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology (FAWUT), Warsaw 2017, typescript available in the FAWUT Library.

²⁴ J. Onyszkiewicz, *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym*, doctoral dissertation written under the supervision of Waldemar Bober, DSc Eng., at the Faculty of Architecture of the Wrocław University of Technology, Wrocław 2019, Dolnośląska Biblioteka Cyfrowa, <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/140767/edition/72670> (accessed: 3.09.2025).

²⁵ I. Mazzoleni, *Architecture Follows Nature: Biomimetic Principles for Innovative Design*, New York 2013.

biological adaptation mechanisms in animals are used in design. *Biomimetics for designers. Applying nature's processes & material in the real world*²⁶ addresses the issue of mimesis in architecture and is addressed directly to designers and design students. The numerous articles include those that focus on a selected aspect, for example, on materials, as does *Smart materials and new technologies: For the architecture and design professions*,²⁷ or on environmentally friendly technological and production processes, requiring not only new methods and techniques, but also a change in the role of the designer and the way of thinking, as exemplified in the article *Designing from place: A regenerative framework and methodology*.²⁸ *Performance-oriented architecture: Rethinking architectural design and the built environment*,²⁹ which provides an extremely interesting voice in the discussion on the crisis of contemporary architecture, also contributes to the discourse on sustainability.

A review of the research conducted to date indicates not only the growing importance of bio-inspired design in architecture, but also the need to clarify and organise terminology in order to provide an in-depth analysis of selected designs constituting part of the 'bio' stream. The first three terms – bionics, biomimetics and biomimicry – although often used interchangeably, differ in both context and purpose of use. However, what all the fields mentioned have in common is their interdisciplinarity and collaboration with the biological sciences; therefore, if a clear identification of a stream is not possible, an attempt should be made to indicate the design tendencies manifested.

²⁶ W. Kapsali, *Biomimetics for designers. Applying nature's processes & material in the real world*, London 2021, p. 62.

²⁷ D.M. Addington, D. Schodek, *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, London 2004.

²⁸ P. Mang, B. Reed, *Designing from Place: A Regenerative Framework and Methodology*, "Building Research & Information", 2011, vol. 40, no. 1, pp. 23–38.

²⁹ M. Hensel, *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, Chichester 2013.

Bio-innovation – a case study

The cases cited in this chapter are examples of implementations or concepts that go beyond the rigid definition of architecture, showing building structures as works that change over time – they focus on the study of dynamic processes taking place in nature and are representative examples of the implementation of biological knowledge in architecture. And although their bio-innovation is not obvious, as their individual components have appeared before (pneumatic actuators, mycelium cultivation, etc.), thanks to the designers they have taken on an architectural form. The knowledge needed for their creation was drawn from areas of science such as neurobiology³⁰ (*NSA Muscle*), mycology³¹ (*Hy-Fi Tower*), biochemistry³² (*PhotoSynthetica System*) and botany³³ (*Dusty Relief*). The designs discussed herein were selected on the basis of two guidelines: firstly, the innovative potential, which is reflected in the interdisciplinarity; secondly, the topicality of the work, which makes it possible to show how bio-innovation is interpreted today, in the context of discussions about sustainability and the future of architecture. All the designs were created in the 21st century.

1. *Dusty Relief* (2002)

The first case is *Dusty Relief*, a design prepared in 2004 by Francois Roche with the R&Sie(n)

³⁰ Neurobiology – a branch of the life sciences that studies the anatomy, physiology and pathology of the nervous system. Source: *Neurobiology*, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (accessed: 17.09.2025).

³¹ Mycology – the branch of biology that deals with the study of fungi. Source: *Mycology*, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (accessed: on 17 September 2025).

³² Biochemistry – the science that deals with chemistry in living organisms, in particular the biosynthesis, structure, concentration, functions and transformations of chemicals in organisms. Source: *Biochemistry*, Merriam-Webster.com Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/neurobiology> (accessed: 17.09.2025).

³³ Botany – the branch of biology dealing with plants, which encompasses all knowledge of the plant world and the phenomena occurring in it. Source: *Botanika*, Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/botanika;3879925.html> (accessed: 17.09.2025).

group for the Museum of Contemporary Art in Bangkok.³⁴ François Roche was inspired by Man Ray's 1920 photograph *Dust Breeding*, which depicted Marcel Duchamp's work entitled *The Large Glass*, which is a pane of glass covered with one-year-old dust.³⁵ While Duchamp's intention was to incorporate natural phenomena into the creation of art, Roche went a step further and attempted to link architecture to the processes that take place in a polluted urban environment. Analogous to plants having the ability to trap air pollutants,³⁶ the façade of the building was designed to facilitate dust trapping through its porous surface and irregular shapes. This phenomenon gives the building a time-varying form – as a result, it is the smog dust collecting on the façade that shapes it in a practical way. Roche's concept addresses an important aspect of 'polluted aesthetics' in today's world,³⁷ questioning traditional design methods that too rarely incorporate the processes taking place in the surrounding environment (not excluding even urban dust), and provokes reflection on the relationship between humans, technology and the environment. *Dusty Relief* therefore mainly represents a design approach in the field of biomimetics, manifesting itself in the inspiration by plant structures and air filtration mechanisms, which were used to create the concept of an irregular, porous surface for the entire building. The design also manifests biophilic tendencies, referring to nature in the functional layer – through its variability over time, and the aesthetic layer – through its biomorphic shape.

2. *PhotoSynthetica System* (2018)

The next case analysed is a building façade called *PhotoSynthetica System*, developed by a team of researchers from ecoLogicStudio.³⁸ The project explores the issue of liquid architectural components created on organic suspensions.³⁹ The authors envisaged an outer façade of the building covered with panels filled with living organisms, undergoing photosynthesis. This phenomenon spans fields as diverse as biology, chemistry and physics, and research conducted in these areas enabled Joseph Priestley⁴⁰ to discover in the 18th century that plants produce oxygen.⁴¹ In the case of the *PhotoSynthetica System*, microalgae grown in purpose-built photobioreactors – transparent, flexible panels integrated into the structure of the building, which undergo constant and automatic reactions in a continuous biochemical process – were used to produce oxygen. This biological process, combined with digital control systems, serves the function of a living blind that filters sunlight and tints it a green colour, which is easy on users' eyes.⁴² Oxygen production is a key outcome of the experiment, as it is linked to the function of removal of carbon dioxide from air, which is now a particularly desirable feature in sustainable design practices. What is more, the algal biomass produced during this process can later be used to produce biofuels, biodegradable materials and

³⁴ For more information on the design, see the New Territories website at <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm> (accessed: 11.01.2025).

³⁵ D. Campany, *Man Ray and Marcel Duchamp: Dust Breeding 1920*, <https://davidcampany.com/dust-breeding-man-ray-1920/> (accessed: 29.12.2024).

³⁶ A. Castanheiro, *Leaf accumulation of atmospheric dust: Biomagnetic, morphological and elemental evaluation using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS*, "Atmospheric Environment", 2020, no. 221.

³⁷ F. Roche, *Dusty Relief*, "New-Territories", 2002, <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm> (accessed: 29.12.2024).

³⁸ For more information about the design, see the ecoLogicStudio website at <https://www.ecologicstudio.com/projects/photo-synth-etica> (accessed: 11.01.2025).

³⁹ I.I. Voda, *Fluidity and Entropy in Contemporary Architecture: Chaos between Space-Time and Matter-Energy*, in: *With(Out) Trace: Inter-Disciplinary Investigations into Time, Space and the Body*, Leiden 2015.

⁴⁰ E. Kingston, *Joseph Priestley*, Internet Encyclopedia of Philosophy, <https://iep.utm.edu/priestly/> (accessed: 27.07.2018).

⁴¹ J. Priestley, *Experiments and observations on different kinds of air*, Cambridge 2013, p. 52.

⁴² C. Pasquero, M. Poletto, T. Greskova, *Photosynthetic architecture in times of climate change and other global disruptions*, in: *Anthropologic – Architecture and Fabrication in the Cognitive Age: Proceedings of the 38th eCAADe Conference*, vol. 1, 2020, pp. 573–582.

even as animal feed.⁴³ In this vision, architecture is no longer a second nature constructed by man – but becomes an active participant in the biotope, redefining the nature-culture and biology-technology dichotomies. It represents design practices mainly in the field of biomimetics, as it implements whole systems inspired by nature into architecture. In the idea itself, however, elements of biomimicry can be discerned, because instead of a metaphorical imitation of forms, a biological process is mirrored, which corresponds to one of the basic definitions of the concept.⁴⁴ Thanks to the use of digital technology, we are also dealing with a bionic component to a small extent.

3. *Hy-Fi Tower* (2014)

Another example is based on processes taking place in the mycelium. As organisms with a unique structure, fungi have been the subject of much research throughout history, in terms of both their structure and function. Among many works, mention can be made of the work of biologist Lynn Margulis on the symbiosis between organisms, in which the author recognised the links between fungi and other forms of life in the ecosystem.⁴⁵ An architectural interpretation of this research is the mycelium-based bricks used by David Benjamin in 2014 to design *Hy-Fi*, a twelve-metre-high structure demonstrating the possibilities offered to contemporary construction by the natural processes taking place in mycelium.⁴⁶ From a technical point of view, *Hy-Fi* is based on a process of moulding blocks that fill a previously prepared framework. Traditional adhesives or glues are not used to join the components, but

instead they are formed in such a way that the bricks fit tightly together, which greatly simplifies the assembly and disassembly processes. The building material obtained by natural growth has a number of advantages, such as speed of production, low cost, and biodegradability. Mycelium bricks can be composted and then used in local gardens.⁴⁷ As mycelium-based composites are created using easily available resources, their appearance and texture varies from crop to crop and post-growth processing – ultimately affecting the aesthetics of the buildings. This concept proposes a new definition of native material, whose full cycle – birth, development and death – takes place in the local environment, which fits in with the idea of biophilic design, taking place in harmony with nature and being part of it. The design refers to biomimetic design principles, which in this case involve the translation of biological processes into architectural materials and forms. However, it contains no bionic elements, as the concept focuses primarily on the function of the material and its sustainability.

4. *NSA Muscle* (2003)

The case study ends with the *NSA Muscle* exhibition pavilion designed by Kaas Oosterhuis.⁴⁸ In this design we can see references to botanical research on plant communication in the forest ecosystem.⁴⁹ Similarly, the *NSA Muscle* was intended to be one of many links in a chain consisting of many such buildings. The multitude of pavilions would form a kind of ecosystem in the form of a cybernetic network, within which data would be exchanged with the surroundings. The architect's main idea was to bring the structure of the pavilion to life with a responsive system. The building

⁴³ V.C. Eze, M. Agblevor, A. Oyedun, *Biochemical conversion of algal biomass into biofuels*, "Biofuels, Bioproducts and Biorefining", 2018, no. 12/5, pp. 904–917.

⁴⁴ J.M. Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York 1997.

⁴⁵ L. Margulis, *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*, New York 1998.

⁴⁶ For more information on the project, see the Holcim Foundation for Sustainable Construction website at <https://www.holcimfoundation.org/projects/hy-fi> (accessed: 11.01.2025).

⁴⁷ D. Benjamin, *Reinventing the brick*, in: *Fourth Holcim Awards - Sustainable Construction 2014/2015*, Switzerland 2014, pp. 61–65, <https://d1f6o4licw9har.cloudfront.net/flip/A15/A15Book/HTML/index.html> (accessed: 11.05.2024).

⁴⁸ For more information, see <https://www.oosterhuis.nl/nsa-muscle-centre-pompidou-paris/> (accessed: 11.01.2025).

⁴⁹ I. Baldwin, J. Schultz, *Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: Evidence for communication between plants*, "Science", 1983, no. 221, pp. 277–279.

would respond to signals from the environment,⁵⁰ and would be based on biotechnologies underlying the formation of a sentient architecture.⁵¹ This approach was already present thirty years ago in the *Saltwater Pavilion*, but there Oosterhuis proposed an illusionary immersion based on the play of light, sound and fog. In contrast, in the case of the *NSA Muscle*, the architect went a step further into the physical variability of the building, which is made up of 72 pneumatic actuators that form a unique architectural muscle. Its movement consists of contracting and stretching in response to stimuli caused by users and coming from sensors placed in the shell – the skin of the pavilion. It integrates spatial issues with biomechanical and digital ones, thereby reflecting the post-biological concept inculcated into culture by, among others, Donna Haraway, who predicted the symbiosis of man with technology as the ultimate point towards which evolution is heading.⁵² In conclusion, it can be said that the pavilion is an excellent example of bionic architecture, as it focuses on mechanical and functional innovation, typical of bionics.

Bio-innovation: conclusions from the study

A systematisation of the existing definitions and approaches to terms with the *bio-* prefix, together with an analysis of the case studies carried out, indicates that bio-innovation projects can rarely be clearly classified in a single category; on the contrary, they are usually located at the interface between two or more areas referred to as 'bio', combining characteristics of different streams (Tab. 1). In the examples discussed herein, the issue of bionic design is addressed most profoundly by the *NSA Muscle*, which explores

the relationships occurring at the intersection of architecture, biology and intermedia, leading architecture towards cybernetics. Although the inspiration in the case of this design also goes back to biomimicry and biomimetics, unlike in the other examples, the essential character of this novel idea is given by advanced technology rather than elements of the biosphere. The *NSA Muscle* demonstrates the blurring, thanks to bionics, of the boundary between the hitherto opposing concepts of technosphere and biosphere, which are equally encroaching on the architecture, causing it to increasingly abandon the rigid, orderly model in favour of one that is responsive, flexible and communicative. A lower level of technological sophistication, with an increase in the involvement of the biosphere, is shown by the *PhotoSynthetica* design. The bio-façade filled with microalgae, allows the building to coexist with its surroundings. In this case, we can speak of biomimetic design with elements of biomimicry and one of the degrees of *mimesis*, which is the imitation of processes occurring in nature – in this case photosynthesis. This symbiotic solution integrating technology with natural processes redefines the relationship between architecture and ecosystems – the liquid mixture enclosed in the bioreactors can be absorbed by the biosphere as feed, for example. The *Hy-Fi* tower, built from mushroom bricks that grow and then biodegrade in accordance with the natural cycle of life, also fits into this circularity. By mimicking the mechanisms taking place in nature, it is a manifestation of biomimetics and also implements the philosophy of biophilic design. In contrast, the *Dusty Relief* design's level of mimicry of natural processes reflects the biomimetic stream with elements of biomimicry, while in terms of shape it is an excellent example of biomorphism. Dust forms the outer, self-growing shell, itself inanimate, but based on the process of collecting dust from the air. The façade of the building thus illustrates the problems associated with urban smog, which makes it an active part of the urban environment.

⁵⁰ K. Oosterhuis, *Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture*, Basel 2003.

⁵¹ Idem, *Saltwater Pavilion*, 1997, <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hvph/saltwater-pavillion-project-pages.html> (accessed: 16.12.2024).

⁵² S. Gennaro, D. Kellner, *Digital culture, media, and the challenges of contemporary cyborg youth*, in: *Bioinformational philosophy and postdigital knowledge ecologies*, eds. M.A. Peters, P. Jandrić, S. Hayes, Cham 2022.

Bio-innovation areas Name of the design	Bionics	Biomimetics	Biomimicry	Biophilia	Biomorphism
<i>Dustyrelief</i> François Roche					
<i>PhotoSynthetica</i> ecoLogicStudio					
<i>Hy-Fi Tower</i> David Benjamin					
<i>NSA Muscle</i> Mitchell Joachim					

Table 1. A table showing the results of the study. Prepared by the author, 2025

The innovative ideas present in the cases described above have one source of inspiration: the biological sciences, which have infiltrated the field of design under the ‘bio’ concepts of bionics, biomimicry, biomimetics, biophilia and biomorphism. In the buildings analysed herein, we can see features that make the architecture increasingly flexible and adaptable, as in the case of the bio-façade of the *Photosynthetica System*, which draws inspiration from biochemistry, or the *Hy-Fi* ‘mycological tower.’ The capacity for responsiveness and processuality is also noticeable, as exemplified by the ‘neurological shell’ of the *NSA Muscle* and the ‘urban vacuum cleaner’ of the *Dusty Relief*.

Conclusions

Just as white light is split in a prism into a multi-coloured spectrum, bio-innovations, passing through the prism of scientific analysis, are divided into different ‘bio’ streams, demonstrating the multi-dimensional nature of nature’s

inspiration. Each of these phenomena represents a distinct issue within a broad spectrum of links between architecture and biology from which architects can draw inspiration to create innovative solutions. The case study makes it possible to link the identified ‘bio’ concepts to architectural innovations, thus partially bridging the research gap. The innovative result of the transfer of ‘bio’ solutions to the field of design is an unprecedented capacity for variability and diversity, shaped by dynamic conditions increasingly influenced by natural processes or those imitating nature. This, in turn, changes the nature of buildings, as they take a more open form and become a variable process. Observation of the changes taking place at the interface between architecture and biology leads to the conclusion that the bio-innovation present in contemporary science is a source of inspiration in architecture. The examples of the cases analysed show that bio-innovation results in the emergence of original design solutions that address both formal and process threads.

Bibliography

- Achramowicz R., Kuhnert E., *Biology as a Source of Inspiration for Architectural Innovations*, in: *Defining the Architectural Space – Architecture and Technology*, vol. 3, ed. T. Kozłowski, Kraków 2024
- Addington D.M., Schodek D., *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, London 2004
- Agkathidis A., *Biomorphic Structures: Architecture Inspired by Nature*, London 2017
- Ascott R., *The Architecture of Cyberception*, "Architectural Design", 1995, no. 65/11–12
- Baldwin I., Schultz J., *Rapid Changes in Tree Leaf Chemistry Induced by Damage: Evidence for Communication Between Plants*, "Science", 1983, no. 221
- Benyus J.M., *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York 1997
- Białkiewicz J.J., *Biomimetyka i biomimikra jako narzędzie i ideologia we współczesnej architekturze*, "Architectus", 2024, no. 3, DOI: 10.37190/arc240310
- Campany D., *Man Ray and Marcel Duchamp: Dust Breeding 1920*, <https://davidcampany.com/dust-breeding-man-ray-1920/>
- Castanheiro A., *Leaf Accumulation of Atmospheric Dust: Biomagnetic, Morphological and Elemental Evaluation Using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS*, "Atmospheric Environment", 2020, no. 221, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117082
- Clegg B., *Biomimetics: How Lessons from Nature can Transform Technology*, London 2023
- Encyklopedia Britannica*, Polish edition, vol. 4, ed. W. Wolarski, Poznań 1998
- Eze V.C., Agblevor M., Oyedun A., *Biochemical Conversion of Algal Biomass into Biofuels*, "Biofuels, Bioproducts and Biorefining", 2018, no. 12/5
- Fromm E., *Love of Death and Love of Life. The Heart of Man: Its Genius for Good and Evil*, New York 1964
- Gennaro S., Kellner D., *Digital Culture, Media, and the Challenges of Contemporary CyborgYouth*, in: *Bioinformational Philosophy and Postdigital Knowledge Ecologies*, eds. Peters M.A., Jandrić P., Hayes S., Cham 2022
- Grigson G., *The Arts Today*, London 1935
- Haddon A.C., *Evolution in Art*, London 1895
- Haraway D.J., *A Manifesto of Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s*, "Socialist Review", 1985, vol. 15
- Hensel M., *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, Chichester 2013
- Iouguina A., Dawson J.W., Hallgrímsson B., Smart G., *Biologically Informed Disciplines: A Comparative Analysis of Bionics, Biomimetics, Biomimicry, and Bio-Inspiration Among Others*, "International Journal of Design & Nature and Ecodynamics", 2014, vol. 9/3, DOI: 10.2495/DNE-V9-N3-201-206
- Kapsali W., *Biomimetics for Designers. Applying Nature's Processes & Material in the Real World*, London 2021
- Kellert S.R., *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*, Hoboken 2008
- Margulis L., *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*, New York 1998
- Mang P., Reed B., *Designing from Place: A Regenerative Framework and Methodology*, "Building Research & Information", 2011, no. 40/1, DOI: 10.1080/09613218.2012.621341
- Mitchell W.J., *Me++: The Cyborg Self and the Networked City*, Cambridge (MA) 2003
- Nowak A., *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*, doctoral dissertation written under the supervision of Prof. Wiesław Rokicki at the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology (FAWUT), Warsaw 2017, typescript available in the FAWUT Library
- Onyszkiewicz J., *Elementy biomimetyki w projektowaniu architektury w środowisku zrównoważonym*, doctoral dissertation written under the supervision of Waldemar Bober, DSc Eng., at the Faculty of Architecture of the Wrocław University of Technology, Wrocław 2019, Dolnośląska Biblioteka Cyfrowa, <https://dbc.wroc.pl/dlibra/publication/140767/edition/72670>
- Oosterhuis K., *Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture*, Basel 2003
- Oosterhuis K., *Saltwater Pavilion*, 1997, <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hvph/saltwater-pavillion-project-pages.html>

- Pasquero C., Poletto M., Greskova T., *Photosynthetic Architecture in Times of Climate Change and Other Global Disruptions*, in: *Anthropologic – Architecture and Fabrication in the Cognitive Age: Proceedings of the 38th eCAADe Conference*, 2020, vol. 1
- Priestley J., *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Cambridge 2013
- Roche F., *Dusty Relief*, “New-Territories”, 2002, <https://www.new-territories.com/roche2002bis.htm>
- Sachs A., *Nature Design. From Inspiration to Innovation*, Baden 2007
- Söderlund J., Newman P., *Biophilic Architecture: A Review of the Rationale and Outcomes*, “AIMS Environmental Science”, 2015, no. 2/4, DOI: 10.3934/environsci.2015.4.950
- Spiller N., *Leaving Nadir*, *Architectural Design*, 1996, no. 66/9–10.
- Tatarkiewicz W., *Mimesis*, in: *Dictionary of the History of Ideas*, ed. P.G. Wiener, vol. 3, New York 1973
- Thompson D.W., *On Growth and Form*, Cambridge 1917
- Torberntsson A., Michalak H., *O kształtowaniu konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem wzorców ze świata przyrody*, “Przegląd Budowlany”, 2023, no. 94/5–6
- Voda I.I., *Fluidity and Entropy in Contemporary Architecture: Chaos Between Space-Time and Matter-Energy*, in: *With(Out) Trace: Inter-Disciplinary Investigations into Time, Space and the Body*, Leiden 2015, DOI: 10.1163/9781848884410_022
- Wilson E., *Biophilia*, Cambridge (MA) 1984