

Krystyna JANUSZKIEWICZ¹

PROJEKTOWANIE MORFOEKOLOGICZNE STRATEGIĄ DLA EFEKTYWNOŚCI I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŚRODOWISKA ZBUDOWANEGO

1. Wprowadzenie

Wzory, których dostarcza Natura były od zarania dziejów inspirujące dla form budowlanych. Formy te stanowiły rodzaj pomostu pomiędzy człowiekiem a właściwym mu środowiskiem przyrodniczym. Dziś uczymy się od Natury oszczędnego gospodarowania energią i materiałem, odnajdujemy w jej utworach efektywne rozwiązania inżynierskie i wzory struktur dla nowych materiałów budowlanych. A także poznajemy sposoby, w jaki środowiska naturalne i zbudowane mogłyby ze sobą najlepiej współdziałać. Obecnie sięga się po wiedzę z innych dyscyplin (biologia, fizyka), aby objaśniać zasady działania naturalnych procesów formotwórczych i przekładać je na język informatyki. Opracowywane są cyfrowe narzędzia generatywne imitujące naturalne procesy formotwórcze i adaptacyjne. Narzędzia te próbuje się zastosować w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym.

2. Morfoekologiczne podejście do środowiska

Morfoekologia jest koncepcją i podejściem do projektowania, które łączy pojęcie „morfologii” i właściwej dla niej morfogenezy z pojęciem ekologii. Ekologia, rozumiana, jako związek organizmu z jego środowiskiem, jest centralną koncepcją projektowania morfoekologicznego.

Na początku XIX w. w kontekście studiów z botaniki, poeta i pisarz Johann W.

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Żołnierska 50, 71-210 Szczecin, e-mail: krystyna_januszkiewicz@wp.pl

von Goethe (1749–1832) zdefiniował morfologię, jako studium formy. Połączył on teorię postaci Gestalt, czyli budowy formy z procesem formacji (Bildung), któremu nieustannie podlega forma [1]. W drugiej połowie tego wieku fizyk i zoolog Ernest Haeckel (1834–1919) zdefiniował ekologię, jako naukę o związkach między organizmami a ich środowiskiem [2]. Zajmujący się dziś makroekologią James H. Brown zaś dowiódł, że systemy ekologiczne są systemami otwartymi i utrzymują się tak długo, aż nie osiągną równowagi termicznej, czyli dopóki odbywa się transformacja i wymiana energii z organizmami i materią przez arbitralnie wyznaczone granice² [3].

Morfoekologia, jako integralny element projektowania, ma na celu korelacje architektury, środowiska i podmiotu tak, by powstał synergetyczny związek dynamiczny. Podstawy teoretyczne i metodologiczne dotyczą intensywnej dyferencjacji materiałowej oraz energetycznych interwencji, które ujmują tendencje behawioralne w danym środowisku. Tendencje te wskazują na relacje środowiskowe o sprzężeniu zwrotnym oraz na strategię dla pasywnych modulacji. Wmuszają także przewidywanie związków, które mogłyby wynikać z powiązań organizacji przestrzennej i społecznej ze sposobami życia oraz prognozy co do potencjalnych możliwości rozwoju.

3. Projektowanie morfo-ekologiczne

W XXI w. cyfrowe programy CAD wspomagające projektowanie architektoniczne i urbanistyczne zawierają już aplikacje narzędzi generatywnych. Opracowywane są strategie generatywnego projektowania systemów strukturalnych odpowiednich dla zróżnicowanych i złożonych środowisk urbanistycznych [4].

W wyniku zagęszczania tkanki miejskiej następują zazwyczaj przyspieszone procesy społeczne, ekonomiczne i środowiskowe, które wpływają na bezpośrednie otoczenie człowieka. Ze względu na powiększający się zasięg użytkowania przestrzeni i cykliczną trwałość materiałów środowisko zbudowane można traktować, jako zabezpieczenie ekologiczne, topologiczne i strukturalne tego, co ułatwia aktywności ludzkie. Przez ekologię można wówczas rozumieć relacje między grupami użytkowników a ich środowiskiem fizycznym i społecznym. Topologia zaś może

² James H. Brown jest inicjatorem badań z makroekologii, która nie jest subdyscypliną ekologii, tylko programem badawczym. Prowadzone są obserwacje i opis zachowań układów złożonych tak, aby można było wyodrębnić powtarzalne wzorce i dokonywać uogólnień i analiz statystycznych.

posłużyć, jako łącznik między elementami materialnymi w środowisku. Natomiast strukturę, poza przenoszeniem obciążeń, można traktować za pośrednictwem jej pewnych zdolności organizacyjnych. W ten sposób ekologia, topologia i struktura zostają zespolone i nierozłączne. Ich relacje wzajemne mogą być instrumentem w procesie generatywnego formowania, zwłaszcza, gdy właściwości tych relacji mają być modyfikowane. Dynamika środowiska zewnątrz i wewnątrz obiektu, przez sprzężenie zwrotne, wzmacnia geometryczne różnicowanie się systemu materiałowego. Wtedy organizacja systemu będzie ułatwiać mutacje i migrację ludzkich aktywności.

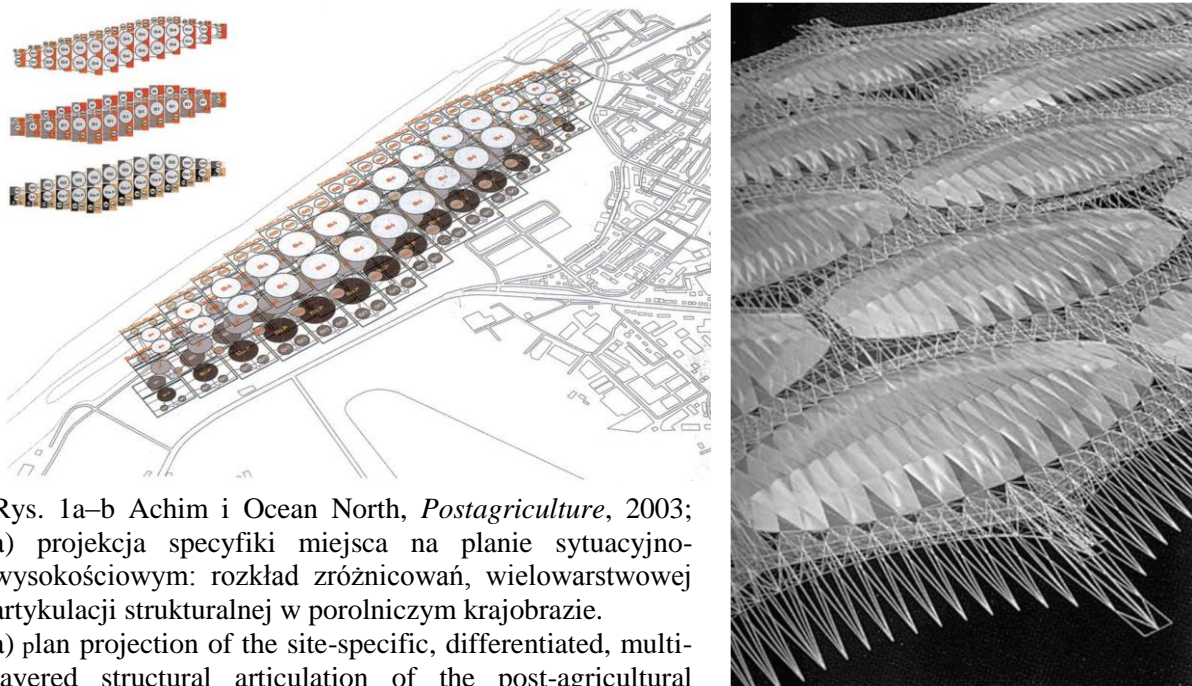
Ważnym aspektem projektowania jest sam proces i przyspieszona ewolucja środowiska zbudowanego. W tym procesie dynamiczne wzory ludzkich zachowań potwierdzają relacje pomiędzy formą i przestrzenią oraz programem użytkowym. Środowisko jest tu rozumiane, jako dynamiczne połączenie specyfiki warunków mieszkania stałego oraz specyfiki mieszkania czasowego, jako gradient mikro- i makrośrodowisk. Środowiska te tworzą razem z sobą ekosystem – dynamiczny, środowiskowy związek topologiczny, którego wynikiem jest zróżnicowane zagęszczenie się struktury odpowiednio do rodzaju i intensywności aktywności użytkowników. Tak zintegrowane podejście sugeruje, że projektowanie architektury następuje przez modulację warunków mikrośrodowiskowych w systemie makrośrodowiska. Skutkuje to modulacją całego ekosystemu, a zatem w środowisku architektonicznym uzyskuje się różnicowanie (dyferencjacje) dla intensywnych interakcji socjalnych i mutacji relacji pomiędzy mieszkańcami stałymi a czasowymi.

3.1. Projekty studialne Postagriculture oraz Landscape Playhouse

Achim Menges i Michael Hensel z biura Ocean North proponują w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym stosować generatywne sprzężenie zwrotne pomiędzy cyfrowym a fizycznym *form-finding*, oraz analizy strukturalne i ekologiczne techniki sprawdzające [5]. Przechodzenie od tzw. morfografiki do morfogenezy pozwoliło projektantom na sporządzenie dwóch prac, czyli *Postagriculture* (2003) i *Landscape Playhouse* (2004).

W obu projektach ewolucja zdolności materiałowych i morfologii strukturalnych umożliwiła wyłonienie się specyficznego ekosystemu. Procesy morfogenetyczne zostały wyprowadzone ze zdolności materiału do samoorganizacji i odnoszone były do kryteriów przedformatywnych. Jednakże, relacje morfoekologiczne w tych procesach powinny być traktowane, jako nieliniowe, gdyż jest to wymóg cyfrowych narzędzi

operacyjnych, które, podążając za logiką systemu, rozpoznają zachowania strukturalne wzorów geometrycznych i potwierdzają różnice jakościowe. Celem obu projektów było wygenerowanie złożonych środowisk, które w ciągu dalszym rozwijane były przez adaptogenezę – proces znany, jako adaptacja genetyczna, czyli przystosowanie genetyczne do środowiska. Jest to proces ciągłego dostosowywania się systemu do zadanego środowiska i zmian zachodzących w tym środowisku. Adaptację przyjęto, zatem za podstawę, na której oparto modyfikacje ewolucyjne. Aby mógł być przekształcany system strukturalny obiektu, to w cyfrowym procesie ewolucyjnym rozpatrywano dwie strategie (morfologiczne odmienne) oraz ekologiczne czynniki wpływu. Śledzenie kształtowania się profili struktury przez mapowanie, w przypadku *Landscape Playhouse*, wymagało programowania typologicznych jednostek bazowych w polu dystrybucji uwarunkowań dla możliwych aktywności. Natomiast w projekcie *Postagriculture* poszukiwania systemowe były bardziej złożone. Informacje parametryczne dotyczące klimatu i produkcji rolnej oraz rekreacji stanowiły podsystemy i użyto ich do zbudowania modelu organizacji (Rys.1a-b). Model ten pokazuje jakie powinny być spełnione warunki dla różnicowania się relacji.



Rys. 1a–b Achim i Ocean North, *Postagriculture*, 2003;
 a) projekcja specyfiki miejsca na planie sytuacyjno-wysokościowym: rozkład zróżnicowań, wielowarstwowej artykulacji strukturalnej w porolniczym krajobrazie.
 a) plan projection of the site-specific, differentiated, multi-layered structural articulation of the post-agricultural

b) Struktura pneumatyczna przekrycia otrzymana w wyniku proliferacji komponentów powierzchni przez zmienne parametryczne dla orientacji, dystrybucji, gęstości. Brano także pod uwagę zróżnicowane wzmocnianie szwów, zmiany objętości i ciśnienia wewnętrzne dla każdego elementu pneumatycznego nazwanego 'pneus', a także rodzaj sposobu dostosowywania się materiału do kształtu zmiennej powierzchni.

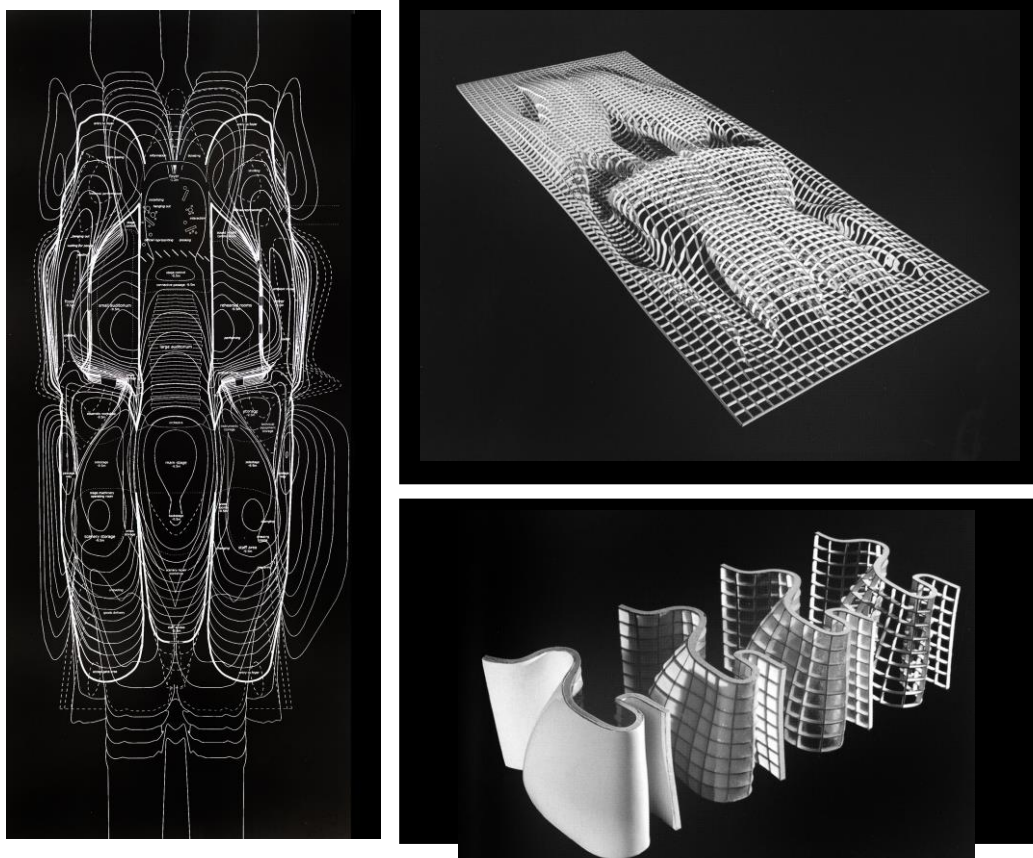
b) proliferation of surface component by parametric changes of the orientation, distribution, density, and differential reinforcement of the seams, depth, internal pressure of the 'pneus', and the type and treatment of the surface material źródło: AD vol 74 no 3 2004 p 85

System wyłonił się, jako gradient progów i możliwości spełniania określonych zadań i tworzenia uwarunkowań. Powstał model dynamiczny, który został wykorzystywany do rozmieszczania aktywności ze względu na oświetlenie, temperaturę i zapach. Jest otwarty na rozwój i zmiany, gdyż przyswaja i rekonfiguruje nowe informacje i ekspertyzy zewnętrzne, a także zachowuje interaktywne relacje pomiędzy modelami analitycznymi a generatywnymi.

Projektowanie złożonego środowiska performatywnego wymaga traktowania struktury, jako warunku, który samoczynnie generuje i różnicuje się. Jest to pomocne, gdy rozumie się strukturę, nie, jako obiekt statyczny, lecz jako proces operacji materiałowych. Manipulowanie w obrębie logiki organizacji systemu funkcjonalno-przestrzennego i ograniczeniami materiałowymi jest wtedy ściśle powiązane z modulacją warunków mikroklimatycznych we wnętrzu obiektu. Projektowane struktury dla *Postagriculture*, takiej, która mogłaby się różnicować, polegało na wynalezieniu odpowiedniego komponentu tej struktury (przez zmienne kontrolowane algorytmicznie), którego możliwości i ograniczenia byłyby najlepsze pod względem przyjętych kryteriów formacyjnych. Wybrano strukturę pneumatyczną, gdyż łatwo można wykorzystywać jej nieliniowe charakterystyki i zróżnicowane stany stabilności. Rezultatem jest takie zróżnicowanie geometryczne struktury, które odpowiada ekosystemom w makrośrodowisku i pokazuje, że struktura może być odpowiedzią na specyfikę lokalnych wymagań i dostosowywać się do określonych warunków.

Intencją projektu *Landscape Playhouse* było stworzenie nowego środowiska miejskiego, które zapewni wiele różnych aktywności w tkance miejskiej. Złożony system formy powstał tu w wyniku lokalnych manipulacji polem ciągłej powierzchni strukturalnej. Powierzchnia ta ukształtowana została w cyfrowym procesie ewolucyjnym (Rys.2a). Następnie, dostosowano powierzchnię NURBS przez korelację punktów kontrolnych z otrzymaną krzywizną. W ten sposób powiązано z sobą logikę geometryczną, topologiczną i strukturalną. Uwzględniono także wyniki testów i analiz przeprowadzonych na modelach fizycznych. Cechy geometryczne tak powstałej powierzchni opisują jej obszary od synklasycznych do antyklasycznych. Dalszy zapis, katalogowanie i analiza geometryczna poszczególnych operacji ujawniły związki pomiędzy lokalnie manipulowaną powierzchnią a strefami modulacji wyznaczonymi przez warunki klimatyczne, oświetleniowe i natężenie hałasu. Metoda cyfrowego generowania formy narzuciła także wymagania materiałowe, które jednoznacznie wskazywały na złożoną geometrycznie skorupę *semi-monocoque* (Rys..2b-c).Taki rodzaj struktur, stosowany jest najczęściej w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym gdyż uwzględnia nierównomierne rozłożenie obciążeń. Oznacza to,

że w zależności od stopnia naprężeń w poszczególnych obszarach powierzchni, łupina może być perforowana. Można zatem wprowadzać w tę strukturę inny rodzaj materiału albo pozostawiać otwory. W przypadku *Landscape Playhouse* rozmieszczenie materiałów wyznaczono przez dynamiczną interakcję lokalnie kontrolowaną przez cyfrowy proces ewolucyjny, który przekształca całą powierzchnię, nadając jej artykulację zgodnie z wymogami strukturalnymi, topologicznymi i ekologicznymi. Podejście to różni się od konwencjonalnych strategii deterministycznych, w których dobierane są jednostki przestrzenne w sposób statyczny i dla tego generowane są neutralne przestrzenie, które służą za środek do osiągnięcia tzw. „elastyczności” funkcjonalnej [5]. W projektowaniu morfoekologicznym charakterystyczne jest to, że nie program użytkowy definiuje formę, lecz ewoluuje on wraz z rozwojem formy.



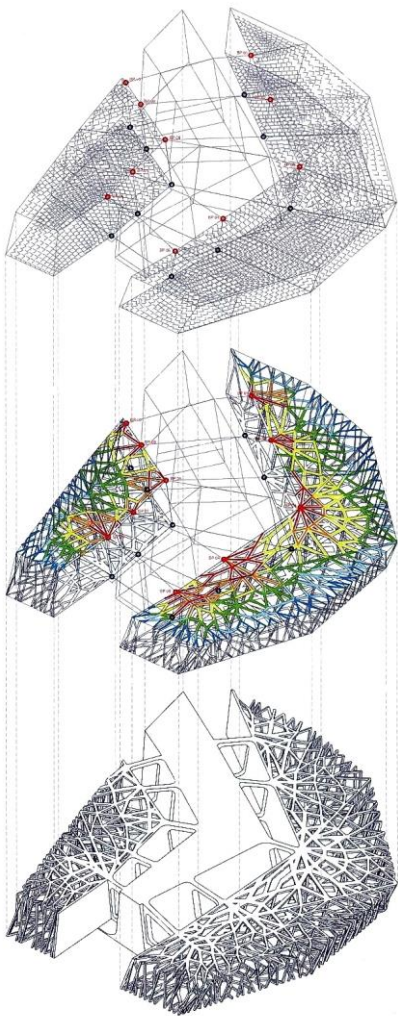
Rys.2a-b-c. Ocean North, *Landscape Playhouse*, 2004 a) definicja przestrzeni opisana przez linie otrzymane w procesie morfogenetycznym (na tej podstawie skorelowano modelowanie cyfrowe i fizyczne CAD/CAM i wykonano wycinany laserowo model, b-c) Otrzymane performatywne 3D model powierzchni strukturalnej o złożonej geometrii – ukształtowanie jest wynikiem analitycznych i ewolucyjnych technik cyfrowych

Fig.2a-b-c. Ocean North, *Landscape Playhouse*, 2004

a) surface definition line derived by digital morphogenetic process and the plan organisation of related program activity fields, b-c) the performative curvature and self-intersection of the surface has been informed by correlative digital and physical modelling. employing different CAD/CAM technologies - bidirectional laser -cut models inform sectional curvature studies. źródło: AD vol.74, no. 3, 2004 s.88-89

3. 2. Nowa Biblioteka Narodowa Czech w Pradze

Intencją projektantów Ocean North oraz Schiffler+Partner było osiągnięcie heterogenicznych układów funkcjonalno-przestrzennych, warunkowanych zmianami klimatu wewnątrz, stosownie do aktywności w obiekcie o funkcji bibliotecznej. W projekcie konkursowym dla Biblioteki Narodowej w Pradze (2006) przyjęto założenie, że wszystkie dające się określić parametry są ze sobą powiązane, a cyfrowy proces generatywny przebiegając rekurencyjnie będzie analizował zachowania strukturalne w powiązaniu z parametrami wprowadzonymi na wejściu. Zmiany danych strukturalnych na wejściu doprowadziły do powstania zróżnicowanej, tektonicznie powierzchni zewnętrznej obiektu. Jest ona syntezą formy oraz jej zachowań podczas przenoszenia obciążeń, a także zdolności organizacyjnych. W procedurze analitycznej dystrybucję naprężeń oceniano i mapowano tak samo jak podstawowe wektory skalarne pola sił [5] (Rys. 3.).



Rys. 3. Ocean North oraz Schiffler + Partner, *Nowa Biblioteka Narodowa Czech*, Praga, 2006
Analityczna procedura komputacyjna ukazująca rozkład naprężeń w obudowie nowej biblioteki. Części wspornikowo-belkowe, zostały poddane ocenie i mapowaniu. W ten sposób otrzymano pole działania sił podstawowych (u góry). Rozgałęziającą się siatka powstała w odniesieniu do uzyskanych informacji strukturalnych przez kombinację parametrów takich jak , stały i incydentalny kąt padania promieni słonecznych, obszar w zasięgu wzroku i charakterystyki przestrzeni (w centrum). Siatka została opracowana, jako obudowa strukturalna wyprowadzona wspornikowo z centralnej części przeznaczonej na archiwum narodowe (poniżej).

Fig.3.Ocean North and Scheffler + Partner, *New Czech National Library*, Prague, 2006
An analytic computational procedure indicates the stress distribution within the envelope of the new library's cantilevering volumes which is evaluated and mapped as a field of principal forces (top). According to this structural information, combined with other parameters such as for instance the angle of incident of sunlight, view areas and spatial characteristics, a network of mapping branches is derived (centre), which is developed into a structural envelope of the volumnes cantilevering from the central national archive (bottom). źródło: AD, vol. 78, no.2, 2008 s. 105.

Wyzwaniem było wygenerowanie tektoniki cyfrowej powierzchni oraz systemu materiałowego o takich zdolnościach organizacyjnych, które pozwalałyby na płynne przechodzenie – od stref wyższego poziomu funkcjonalności (strefy efektywnej obsługi bibliotecznej) – do wyciszonych stref czytania i przeżywania przestrzeni. Ponadto, stopniowa gradacja kanałów cyrkulacji użytkowników i pracowników ku strefom nieukierunkowanym umożliwiła wprowadzanie różnorodnych sposobów przeszukiwania i przeglądania zasobów bibliotecznych.

4. Performance środowiskowy

Przez *performance* środowiskowy rozumiana jest tu zdolność obiektu budowlanego do efektywnego wysiłku w realizacji różnych celów użytkowych i środowiskowych (*multiperformance*) [6]. Eksperymenty z wieloma parametrami przy jednoczesnym działaniem wielu sił formatywnych są niemal nowym przedsięwzięciem – szczególnie, gdy chodzi o ocenę zróżnicowanych kryteriów obejmujących cechy przestrzenne, strukturalne, materiałowe oraz użytkowania. Zinstrumentalizowanie podejścia do powiązanych z sobą charakterystyk behawioralnych, modulowania przestrzeni i środowiska wymaga nowego zestawienia cyfrowych narzędzi projektowania dla architektów. Potrzebne jest takie zintegrowanie metod generatywnych i technik analitycznych, aby odpowiednie narzędzia były łatwo dostępne w poszczególnych fazach procesu projektowego.

Ponadto, forma architektoniczna, która jest dynamiczna rozwija się (morfogeneza) pod działaniem zmiennych sił, przystosowując się do środowiska. Jednakże adaptacja systemu materiałowego *in situ* rozpoczyna się dopiero po realizacji obiektu przez ocenę analiz i sprzężenie zwrotne w zderzeniu użytkowników ze środowiskiem naturalnym i zbudowanym. Widać wtedy (w pożądanej skali), jakie są różnice między środowiskiem zbudowanym a modelowanym cyfrowo. Rozszerza się także zakres przewidywanych i skończonych profili *performance* (trudne podejście deterministyczne). Pozwala to zrozumieć środowisko, które zmienia się, gdyż nieustannie ulega wielu wpływom tak zewnętrznym i wewnętrznym.

Jeśli chodzi o strategię dla pasywnych gradientów i ich uaktualnianie, konieczne będzie opracowanie konstytuant dla dynamicznej wymiany, nie przez izolację, lecz przez wymianę energii i modulację środowiskową. Implikuje to oparcie się na metodach analitycznych, dla których potrzebne narzędzia są już dostępne, lecz niekoniecznie wykorzystywane w procesie projektowania. Chodzi o cyfrowe

symulacje przepływu (CFD), a także analizy termiczne, analizy warunków środowiskowych, analizy zachowań materiałowych oraz inne istotne parametry projektowe, a nie postracjonalizację i postoptymalizację. Projektowanie nastawione na *performance* środowiskowy miało wiele precedensów w historii architektury. W przeszłości architektura była także skomplikowana i piękna oraz zapewniała odpowiednie warunki do zamieszkiwania. Można odnaleźć jeszcze dziś funkcjonujące elementy budynków o odpowiedniej artykulacji powierzchni, heterogeniczne przestrzenie ułatwiające powstawanie różnorodnych mikroklimatów o dynamice właściwej dla sposobu użytkowania, a także metody wykorzystywania energii naturalnej. Stosowane tam materiały i ich powierzchnie współdziałały ze środowiskiem, dzieliły one przestrzeń w podobny, jak obecnie, sposób, odpowiednio do zmieniających się warunków środowiskowych. Do środowiskowych gradientów nie tylko przyczyniały się substancje, ale także ograniczenia przestrzeni z ich materialną powierzchnią oraz użytkownicy, którzy przemieszczali się w czasie i przestrzeni. Pytaniem jest, jak tamte strategie mogą być dziś aktualizowane i instrumentalizowane przez wzgląd na dynamiczne związki pomiędzy podmiotem, przedmiotem i środowiskiem, by stać się wzorcem przestrzennym.

5. Posumowanie

W morfoekologicznym projektowaniu architektonicznym zdolność adaptacyjna wymaga rozumienia zachowania i *performance* organizmu lub artefaktu w odniesieniu do podmiotu i przedmiotu. Zdolność zaś do zmian kieruje uwagę na różnicowanie się (dyferencjacje) obiektu i dynamikę jego środowiska. Stąd projektowanie to wiąże się z wysokim stopniem artykulacji środowiska budowanego, gdyż jest ono substratem i katalizatorem dla przemieszczeń i zmian (sprężenie zwrotne między miejscem zamieszkania a mieszkańcami), co daje różnorodne i intensywne interakcje społeczne. Spontaniczne pojawianie się aktywności i ich migracja oraz mutacja w relacji z morfoekologiczną dynamiką może wtedy służyć do spekulacji o alternatywnym pojmowaniu zrównoważonego rozwoju w sferze socjalnej i kulturowej w tak zbudowanym środowisku [6].

BIBLIOGRAFIA

1. Trunz E. (red.), *Goethes Werke, Hamburg Ausgabe Vol 13*, Wegner (Hamburg) 1948–1960, s. 54–56.
2. Heackel E., *General Morphology*, Berlin, 1866.
3. Brown J.H., *Complexity ecological systems*, w: Georg A. Cowan, David Meltzer, David Pines (red.), *Complexity: Methaphors, Models and reality*, Santa Fe institute, Perseus Books (Reading, MA), 1994.
4. Januszkiewicz K., *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*. Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2010, s. 138-142.
5. Hensel M., Menges A., *Designing Morpho-Ecologies. Versality and Vicissitude of heterogeneous Space*, AD, vol. 78, no.2, 2008 pp. 102-108.
6. Menges A., *Morphoo-Ecologies. Approaching Complex Environment*, AD, Vol. 74, No. 3, 2004, p. 81.

PROJEKTOWANIE MORFOEKOLOGICZNE STRATEGIĄ DLA EFEKTYWNOŚCI I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ŚRODOWISKA ZBUDOWANEGO

Streszczenie

Ewolucyjny rozwój i wymiana między strukturą biologiczną a środowiskiem zachęcają do uczynienia z tych procesów narzędzi służących projektowaniu efektywnych ekologicznie sztucznych form, odpowiadających potrzebom użytkowym. Instrumentalizacja procesów naturalnych otworzyła dla architektury nowe terytoria do eksploracji konceptualnych, formalnych i tektonicznych. Projektowanie morfoekologiczne jest jedną z takich strategii w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym nastawionym na zrównoważony rozwój środowiska zbudowanego.

MORPHO-ECOLOGIES DESIGN STRATEGY FOR EFFICIENCY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT BUILT ENVIRONMENT

Summary

Evolutionary development and exchange between the biological structure and the environment to encourage the process of making tools for the design of eco-efficient artificial forms, responding to the needs of use. Instrumentalization of natural processes architecture opened new territories to explore the conceptual, formal and tectonic. Morpho-Ecologies design is one of this new strategies in architectural and urban design for sustainable development build environment.