

DARIUSZ ADAM SZKUTNIK

## PRZYCZYNOWOŚĆ W UKŁADACH BIOLOGICZNYCH. DYNAMICZNE DZIAŁANIE INFORMACJI STRUKTURALNEJ W TOKU REGENERACJI ORGANICZNYCH

### Wprowadzenie

Zadaniem głównym, jakie stawiali i stawiają sobie naukowcy i filozofowie, jest ostateczne poznanie mechanizmu, w oparciu o który przebiegają złożone procesy przyczynowe w ramach kształtowania się i funkcjonowania struktur ożywionych. W starożytności Arystoteles postulował istnienie formy substancjalnej, która nadawała stosowną „treść” przyczynową materii<sup>1</sup>. Pomimo tego, że współcześnie takie rozumienie jest niewystarczające, wskazuje ono pewien schemat myślowy często rozwijany na obszarze filozofii przyrody. Ostatecznie, dynamiczny rozwój nauk przyrodniczych doprowadził do uznania, że fundamentalnym parametrem sterującym w przebiegu morfogenezy jest informacja, której istota i zakres działania na obszarze regeneracji organicznych nie została jeszcze dostatecznie poznana.

---

DR DARIUSZ ADAM SZKUTNIK, absolwent filozofii Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Uniwersytetu Warszawskiego. Swoje badania naukowe koncentruje wokół metodologii biologii i medycyny (głównie wokół przyczynowości w zakresie regeneracji organicznych). Kontakt: theskutnik@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6924-1692.

1. D. A. Szkutnik, *Aristotle and Hans Driesch. Substantial form μορφή and entelechy ἐντελέχεια as basic categories integrating organic development*, „Biocosmology - Neo-Aristotelism”, vol. 8, No.1, Winter 2018, s. 74-89.

W ujęciu ogólnym informacja jest pojęciem interdyscyplinarnym, definiowanym różnie w różnych dziedzinach nauki.

Podstawowym zadaniem niniejszej pracy jest pokazanie możliwego sposobu działania informacji – jako czynnika integrującego – na obszarze regeneracji organicznych. Dlatego też informacją strukturalną będę określał pulę czynników przyczynowych<sup>2</sup> odnoszących się do osiągnięcia określonego celu. Przy tym będę wskazywał na opis relacji zachodzących między substancjami chemicznymi a obiektami i procesami jako produktami regeneracyjnymi – w których zaistnieniu podstawy fizyko-chemiczne mogą pełnić funkcję przyczynową. Owa przyczynowa rola substancji chemicznych będzie rozumiana specyficznie: substancje chemiczne będą uznawane za nośniki (zakodowanej) informacji o swoich produktach, analogicznie do procesu, w którym geny kodują informacje o białkach. Jeszcze dokładniej, w ten sposób jak kolejne trójki nukleotydów (tzw. tryplety) w łańcuchu DNA kodują informacje o aminokwasach będących cegiełkami, z których zbudowane są białka.

## O rodzajach informacji wewnętrznej w układach żywych

W tej części wskazuję tylko na ogólny podział (na różnych poziomach) kategorii informacji wewnętrznej, który jest powszechnie przyjęty w biologii – jako nauce.

– Informacja genetyczna zawarta w kwasach nukleinowych i utrwalana w odtwarzalnych strukturach wielkocząsteczkowych, zapisana w kodzie genetycznym niosąca informację o rodzaju i czasie syntetyzowania określonych białek. Jest obecna w najprostszych organizmach żywych.

– Informacja immunologiczna niesiona za pośrednictwem antygenów i przeciwciał w reakcjach serologicznych. Jest tym typem informacji, która obecna jest w niektórych tylko żywych istotach. Stwierdza się, iż nie jest informacją niezbędną. Jednakże tam, gdzie organizm jest przystosowany do jej odbioru, tam jest niezbędna. Oznacza to, że przystosowanie do odbioru informacji immunologicznej jest równoznaczne z brakiem innych zabezpieczeń, „systemów

2. Rozpatrywanie przyczynowe zjawisk biologicznych przyjęło się w nauce stosunkowo niedawno. Przez długi okres zjawiska biologiczne były tylko opisywane, albo porównywane. Najwcześniej zaczęto stosować rozpatrywanie przyczynowe zjawisk w fizjologii w XVII i XVIII w., które były prowadzone przez wybitnych uczonych tj. Harveya, Hallera, Spalanzanego, Wolffa. Do powszechnego użytku jako uznanej metody doszło dopiero w XIX w. Magendie, Müller, Bernard i Ludwig ostatecznie utrwaliли pojęcie fizjologii jako nauki doświadczalnej, poszukującej określonych przyczyn zjawisk, jakie zachodzą w ustroju żywym. Najpóźniej stosunkowo wkroczyła na tę samą drogę morfologia, która także wprowadziła badania przyczynowe do ujmowania i wyjaśniania form organicznych.

alarmowych” ostrzegających przed zagrożeniem prowadzącym do wyniszczenia lub zniszczenia organizmu.

– Informacja strukturalna, która jest związana z budową i odbudową zniszczonych fragmentów ciała roślin i zwierząt<sup>3</sup>. Informacja tego typu bierze udział i odpowiada za prawidłowy przebieg zjawiska regeneracji<sup>4</sup>.

W niniejszej pracy najbardziej istotna jest kategoria informacji strukturalnej oraz jej relacje do zjawisk materialno-energetycznych, dzięki której organizmy żywe przejawiają pewien sposób wzajemnego powiązania i oddziaływania strukturalnych elementów statycznych i dynamicznych oraz możliwość zachowania perfekcyjnego porządku na drodze wymiany materii i energii. Układ żywy do swojego zaistnienia (także regulacji i regeneracji) wymaga ukierunkowanej wymiany materii, energii i informacji.

### **Informacja strukturalna jako dynamiczny „czynnik” integrujący procesy organiczne**

Informacja strukturalna powiązana jest ściśle z procesami totipotencjalnymi, zarówno wśród roślin jak i zwierząt. Arystoteles obserwował rozwój roślin i wiedział, że można je dzielić i w ten sposób rozmnażać, uwalniając potencję prospektywną zawartą w poszczególnych kawałkach podzielonego organizmu<sup>5</sup>. Zjawisko to nie jest aż tak dobrze dostrzegalne w przypadku organizmów zwierzęcych jak u organizmów roślinnych.

Kwestią, która wymaga intensywnych badań i ostatecznego rozwiązania, jest problem, w jaki sposób (w szczególnych przypadkach) informacja strukturalna – jako swoisty kompleks czynników przyczynowych może *de novo* wyzwać procesy regeneracyjne w układach żywych?

- 
3. Niektórzy uczeni wskazują, że jest to poziom znacznie „głębszy” jak poziom komórkowy, obejmujący często cały organizm, nawet złożony z wielu „zooidów”, czyli będący kolonią organizmów (graptolity), co zauważył jako pierwszy A. Urbanek. Gradient stężenia jakichś morfogenów może tworzyć także segmenty w ciele owadów (muszka owocowa). Zob. A. Urbanek, *Organization and Evolution of Animal Colonies*, „Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences” 2003, t. 30, s. 1-8.
  4. H. P. Dürr, F. A. Popp, W. Schommers, w *Elemente des Lebens. Naturwissenschaftliche Zugänge – philosophische Positionen*, Die Graue Edition, Germany 2000: H. J. Fischbeck, *Zum Wesen des Lebens. Eine physikalische, aber nicht – reduktionistische Betrachtung*, s. 263-268.
  5. ...nawet wiele zwierząt, które nie są owadami ... może również żyć ... po podzieleniu ich na liczne części... Rośliny, gdy się je podzieli na części, żyją oddzielnie – z jednego pierwotnego (drzewa) rodzi się wiele drzew... (niektóre) rośliny rozmnażają się za pomocą zrazów... Por. Arystoteles *De iuv. et sen.*, 2, 468 a 26-468 b 3.

Powyższą zagadkę poznawczą próbowali rozwiązać uczeni w oparciu o różne strategie metodologiczne. Bywali tacy, którzy rozpoczynali swoje badania wychodząc od empirycznych danych eksperymentalnych, zmierzając w rejony uogólnień metafizycznych (wychodzili od fizyko-chemicznych przyczyn rozwoju i dochodzili do koncepcji metafizycznej, np. koncepcji entelechii)<sup>6</sup>, albo tacy którzy dostrzegając naocznie złożoność świata przyrody, wyjaśniali procesy rozwojowe w oparciu o podstawy metafizyczne (dusza jako przyczyna rozwoju)<sup>7</sup>. Jeszcze inna grupa, to uczeni, którzy badali rzeczywistość świata organicznego wyłącznie w oparciu o działanie fizyko-chemicznych przyczyn, uwzględniając „odповідź” rozwojową samego organizmu<sup>8</sup>.

W historii nauki wyraźnie obserwujemy włączanie uogólnień metafizycznych do badań biologicznych. Np. Caspar Friedrich Wolff, Johann Friedrich Blumenbach, Immanuel Kant, Karl Ernst von Baer wskazywali, że najważniejszych zjawisk biologicznych, tj. ontogenezy, wzrostu i rozmnażania nie można wyłącznie przypisywać przyczynom fizyko-chemicznym, ponieważ organizmy charakteryzują się ukierunkowanymi procesami naturalnymi. Poszukiwali oni zatem drogi pośredniej pomiędzy redukcjonistycznym mechanicyzmem a witalizmem, opracowując program badawczy, który łączył zasady teleologiczne i mechanistyczne.

W każdej z powyższych metodologii odnaleźć można próbę wyjaśnienia złożoności procesów organicznych w oparciu o postulowane przyczyny wyjaśniające, które współcześnie możemy zastąpić ogólną kategorią informacji strukturalnej. Postulowana kategoria nie tylko zastępuje treść metafizycznych pojęć, ale stanowi próbę naukowego sposobu wyjaśniania i opisu przyczynowych relacji zachodzących w układach żywych. W takim zamyśle, metafizyka – ma większą wartość przyczynowo-inspirującą badania naukowe, a mniejszą jeżeli chodzi o badania przyczynowo wyjaśniające procesy organiczne na obszarze współczesnych badań naukowych<sup>9</sup>.

---

6. Por. H. Driesch, *Philosophie des Organischen*, Leipzig 1921.

7. Por. Aristotle, *De anima*, II, 412 i 20-22. Por. Anne Bäumer-Schleinkofer, *Die Geschichte der beobachtenden Embryologie: Die Hühnchenentwicklung als Studienobjekt über zwei Jahrtausende*, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien 1993 s. 213-214

8. Kompleksowe ujęcie historyczne różnych stanowisk badawczych w zakresie metod eksperymentalnych, w tym poszukiwania fizyko-chemicznych przyczyn rozwoju, zawierają prace Josepha Needhama, tj. *A history of embryology*, New York 1959 oraz *Chemical embryology*, cz. I, New York 1931.

9. Chodzi tutaj głównie o badania eksperymentalne.

## Informacja strukturalna *in actu*.

Na podstawie danych eksperymentalnych można przyjąć, że informacja strukturalna jest zdolna do sterowania płaszczyzną energetyczno-materialną każdego żywego organizmu. Podczas eksperymentów biologicznych z użyciem różnego typu substancji chemicznych albo całych tkanek wprowadzanych do organizmów, obserwowano zmianę planu organizacyjnego łączonych struktur embriologicznych<sup>10</sup>. W tym ujęciu badawczym możemy założyć, że substancje wprowadzane do uszkodzanego eksperymentalnie ustroju pobudzają informacyjnie struktury materialno-energetyczne oraz wzbudzają ich możliwości potencjalno-rozwojowe.

W każdym organizmie żywym pomiędzy komórkami zachodzą swoiste relacje fizyko-chemiczne. Każda komórka może wchodzić w reakcję z każdą inną komórką. Dlatego też informacja strukturalna może ukierunkowywać procesy rozwojowe, nie tylko w czasie niezaburzonego eksperymentalnie rozwoju, ale także podczas naprawy uszkodzanych struktur organizmu. W czasie powyższych zjawisk dochodzi do stopniowego zmniejszania fizycznego wzrostu entropii. Jeżeli założy się, że wprowadzana substancja chemiczna (podczas próby eksperymentalnej) powoduje zmiany w układzie żywym, to może ona być traktowana jako swoisty składnik wchodzący w zasób informacji strukturalnej, jako całościującego modelu integrującego. Na tej też podstawie możemy stwierdzić, że informacja stanowi przyczynową esencję układu materialno-energetycznego i jest swoistym parametrem odpowiedzialnym za przebieg dynamiki życia. W ten sposób m.in. przewyżcza pasywność materialno-energetyczną, redukując wzrost entropii w badanym układzie termodynamicznym. Z drugiej zaś strony jest ona pobudzana do działania wtedy, kiedy tylko stan funkcjonalności danego organizmu został zmieniony przez rozwój wydarzeń z zewnątrz (wskazują na to eksperymenty embriologiczne uszkodzanych eksperymentalnie struktur organizmu)<sup>11</sup>. Informacja strukturalna rozpatrywana w tym kontekście, może być traktowana jako stały parametr zmiennych właściwości materialno-energetycznych organizmu,

---

10. H. Spemann, H. Mangold, *Über Induktion von Embryonalanlagen durch Implantation artfremder Organisatoren*, „Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik”, 1924, t. 100, s. 599-638.

11. Np. z doświadczeń T. J. Kinga i R. Brigssa wynika, że nie tylko pierwsze szesnaście komórek zarodka jak w przypadku badań eksperymentalnych H. Spemanna, ale tysiące komórek stadiów późniejszych posiadają wewnątrz jądro „totipotencjalne”, które niejako jest informacyjnie otwarte na późniejsze zmiany strukturalne organizmów. Por. T. J. King, R. Briggs, *Serial transplantation of embryonic nuclei*, „Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology” 1956, 21, s. 271-279.

a jej stopniowy spadek natężenia decyduje o rozregulowaniu procesów przebiegających w układach żywych<sup>12</sup>.

Pytaniem otwartym jest kwestia, kiedy i w jaki sposób informacja strukturalna rozpoczyna swoją kontrolę parametryczną nad poszczególnymi częściami materii fizycznej?

Informacja, ogólnie mówiąc, jako najważniejszy parametr wszechświata jest czymś działającym w odniesieniu do tego, co nieorganiczne. W tego typu relacji musi istnieć coś, co jest porównywalne z zasadą oddziaływania w jej ogólnym sensie logicznym, ale poza zasięgiem przyczynowości nieorganicznej. Nie tylko samą przyczynowość nieorganiczną, ale cały rozwój wydarzeń należy rozumieć w odniesieniu do wzajemnego współdziałania składników organizmu na płaszczyźnie materii, energii i informacji. Mówiąc w dużym uproszczeniu, jeżeli czynnik *A* oddziałuje na *B*, to nie tylko czynnik *B* jest pod jego wpływem, ale także samo *A*.

Zasób informacji jako osobliwego parametru świata organicznego jest celowo nakierowany w stosunku do określonego systemu organicznego<sup>13</sup>. Dlatego też w przedstawianym kontekście informacja strukturalna = informacja celowa. Jest ona w stanie dostosować się do aktualności materialno-energetycznej całego układu w wyniku swoistych zdolności działania kontrolującego. Można tutaj mówić o dynamicznym współdziałaniu informacji strukturalnej i określonego systemu materialno-energetycznego. Informacja, wkraczając do niego jest w stanie nakierować jego funkcjonowanie, bez ciągłego oddziaływania. Przykładem może tutaj być fizyczny wzrost entropii w organizmach żywych, który jest neutralizowany przez czasowe wkraczanie informacji, której działanie doprowadza do procesu przeciwnego, do tak zwanej negentropii<sup>14</sup>.

W toku regeneracji organicznych, każdy układ komórek podlega swoistej zasadzie rozwojowej. Chodzi o to, że komórki po osiągnięciu określonej gęstości populacji, wstrzymują swój dalszy podział. Konieczne jest zatem nie tylko ustanowienie łączy informacyjnych pomiędzy nimi, ale także ustalenie kontrolującego działania parametru-informacji działającego ograniczająco, tzn. informacyjnie „selekcjonując” materiał potrzebny do zregenerowania określonej części albo funkcji żywego organizmu. Przy tym, należy wykluczyć założenie mówiące o tym, że zahamowanie podziału komórek następuje wyłącznie poprzez akumulację metabolicznych produktów końcowych. Eksperymenty jasno wykazują, że

12. W tym kontekście możemy powiedzieć, że spadek działania informacji strukturalnej może być spowodowany stopniowym obniżeniem działania substancji chemicznych.

13. Dlatego też w tym kontekście metodologicznym informacja strukturalna = informacja celowa.

14. Autor ma tutaj na myśli organizmy prawidłowo rozwijające się pod względem funkcjonalnym w czasie morfogenezy.

„głodująca” komórka drożdży po dodaniu w jej struktury roztworu glukozy nie poddaje się (od razu) procesowi przemian biochemicznych. Początkowo sprawdza ona stężenie roztworu oraz bieżącą gęstość populacji komórek. Jeśli ilość roztworu w stosunku do gęstości komórek jest zbyt niska, powoduje to niewielką lub żadną wydajność metaboliczną. Analogiczna sytuacja dotyczy procesu, kiedy gęstość komórek jest bardzo niska przy dostatecznym obciążeniu ich roztworem glukozy. Z drugiej zaś strony, jeśli te dwie zmienne wejściowe znajdują się w optymalnym zakresie, metabolizm rozpoczyna się od wytwarzania energii i podziału komórek, przy zachowaniu aktywnych ścieżek informacyjnych. Zatem, nawet przy ciągłym dostarczaniu substancji chemicznych oraz usuwaniu produktów przemiany materii określona gęstość komórek jest nie przekroczona<sup>15</sup>. Podsumowując, można powiedzieć że istota działania informacji strukturalnej może opierać się na swoistym mechanizmie zawieszającym, obejmującym fizyko-chemiczne czynniki przyczynowe, przy uwzględnieniu potencjalności materialno-energetycznej żywego organizmu.

### Systemowe podstawy w odkrywaniu informacyjnej celowości dynamicznej

Informacja strukturalna jest nakierowana celowo, gdyż jej elementy, jako przyczyna, dają „założony” skutek = cel. Jednocześnie stanowią one kod. Można przyjąć, że kodem pozostają prawa fizyczne. Problemem jest nasza ograniczona zdolność tworzenia pojęć, które mogłyby ujmować tego typu złożone procesy dynamiczne. Jednakże sam podział na kod i przekształcaną informację jest znacznym uproszczeniem, ale pozwalającym już coś wyartykułować. Opis sieciowy, który niewątpliwie jest znacznie bardziej adekwatny, zawiera podział na sygnały, linki i wierzchołki/węzły, tym czasem w trakcie morfogenezy badana sieć rośnie, staje się coraz bardziej złożona. Przekształcane sygnały stają się elementami sieci = linkami i węzłami. Dlatego też informacja strukturalna musi tworzyć strukturę, która funkcjonując w określonym czasie, tworzy kolejną strukturę dynamiczną itd<sup>16</sup>.

Optymalną metodą do opisu omawianych zjawisk jest podejście systemowe, odnoszące się do sieciowego opisu dynamiki zjawisk regeneracyjnych. Metodologia ta powinna uwzględniać wszystkie możliwe czynniki przyczynowe, mogące działać na rozwijający się organizm w ujęciu kombinacyjnym. Kompleksowe po-

15. H. P. Dürr, F. A. Popp, W. Schommers, *Elemente des Lebens. Naturwissenschaftliche Zugänge – philosophische Positionen, Die Graue Edition*, Germany 2000: L. von Klitzing, Kommunikation – Die Basis des Lebens, s. 215-216.
16. Por. A. Gecow, *Informacja, formalna celowość i spontaniczność w podstawach definicji życia* (I odcinek szkicu dedukcyjnej teorii życia), „Filozofia i nauka. Studia Filozoficzne i Interdyscyplinarne” 2013, nr 1, s. 83-113.

dejsie badawcze do rozważanych procesów dynamicznych w ramach regeneracji organicznych może przyczynić się do zwiększenia efektywności eksperymentalnej w ustalaniu zakresu działania informacji strukturalnej. W dalszej perspektywie nie będzie ono gubiło fundamentalnych związków i relacji zachodzących na płaszczyźnie materialno-energetycznej organizmu. Rozpatrywanie poszczególnych procesów regulacyjnych w zestawieniu relacyjnym w dużym stopniu mogłoby także przyczynić się do ustanowienia „szlaków działania” parametru sterującego, wpływającego na rozwój wydarzeń regeneracyjnych w ustroju żywym. Dodatkowo, tego typu metodologia mogłoby ostatecznie potwierdzić, że informacja strukturalna, jako główny parametr sterujący potencjalnością materii, działa w oparciu o swoistą zdolność sekwencyjnego działania zawieszającego, według informacyjnego priorytetu rozwojowego. Dlatego też podchodząc do badanych zjawisk systemowo w ujęciu kombinacyjnym, powinno się dostrzegać wielopoziomowe relacje morfogenetyczne swoistych oddziaływań przyczynowych. Powinno się także konstruować całościowe modele ujmowanych zjawisk oraz zachodzących przemian w organizmie, nie zaś tylko skupiać się na pojedynczych elementach organizmu żywego (np. na pojedynczych substancjach chemicznych). Badane struktury pojedynczych zjawisk biologicznych mają wartość o tyle, o ile ostateczne ujmowane są w relacyjnym zestawieniu całościowym, gdzie poszczególne elementy wywierają na siebie wzajemne wpływy i oddziaływania dynamiczne.

Z powyższych względów metodologia tego typu powinna więc uwzględniać wieloaspektowe podejście poznawcze w ramach badań eksperymentalnych w zakresie morfogenezy. Złożony układ nie może być traktowany jako coś, co istnieje strukturalnie niezależnie, ale powinien być rozumiany jako coś, co pozostaje w szczególnego typu relacjach zależnościowych od wielu czynników morfogenetycznych, stanowiących o przebiegu dynamiki życia. Podstawowymi składnikami rzeczywistości nie są tylko same cząstki materialne, ale złożona struktura i przyczynowe relacje w jej obrębie. Przy wyjaśnianiu i opisie tego typu zdarzeń powinno być uwzględnione fundamentalne pojęcie, które dla ukazania wyraźnych celów niniejszej pracy nazywam informacją strukturalną. Wyraża ona swoiste właściwości całościujące w odniesieniu do materii organicznej oraz poszczególnych procesów dynamicznych<sup>17</sup>.

---

17. Por. D. T. Campbell, *Downward causation in hierarchically organized biological systems*, w F.J. Ayala and T. Dobzhansky (eds.), „Studies in the philosophy of biology: Reduction and related problems”, 1974, s. 179-186.



## Ograniczoność poznania eksperymentalnego. Biocybernetyka jako „statyczna proteza” rozwoju dynamicznego

Zjawiska życiowe mogą być rozpatrywane na poziomie struktur atomowych, struktur cząsteczkowych, struktur makromolekularnych, kompleksów wielocząsteczkowych, organelli komórkowych etc. Można by dążyć do uchwycenia informacyjnych prawidłowości zachodzących w strukturach wewnątrz atomowych, a więc niejako „niżej” lub w strukturach wielokomórkowych, a więc niejako „wyżej”. Człowiek nie jest w stanie obserwować świata zjawisk na wszystkich „głębokościach” jego struktury i dynamiki równocześnie. Nasze podstawowe narzędzia obserwacji, czyli zmysły, rejestrują zjawiska informacyjne tylko warstwowo. Obserwując szczegóły, tracimy z pola widzenia całość. Obserwując całość, przestajemy dostrzegać szczegóły. Oglądając przez mikroskop wnętrze komórki, tylko dzięki pamięci jesteśmy w stanie wiązać pewne fakty z kategorią informacji strukturalnej i wtedy możemy odnieść wyniki naszych obserwacji do właściwego punktu całości organizmu. Obserwując całość organizmu, tracimy zdolność dostrzegania tego, co dokonuje się na poziomie molekularnym, tylko dzięki pamięci zestawiając potem dwie różne warstwy zjawisk w jeden obraz wielowarstwowy. Podobna kwestia dotyczy wymiarów czasowych. Rejestrując dynamizmy „szybkie”, przestajemy rejestrować dynamikę zjawisk „powolnych” i odwrotnie. Tylko dzięki pamięci elementy naszych obserwacji rekonstruujemy w wielowymiarowy, pojęciowy obraz rzeczywistej, pełnej struktury i dynamiki zjawisk życiowych<sup>18</sup>.

Dlatego też biocybernetyka jako nauka zawiera zespół narzędzi badawczych, które ułatwiają poznanie zjawisk biologicznych na poziomie statycznym<sup>19</sup>. W jej ramach ujmuje się głównie ogólnie rozumianą kategorię informacji jako element umożliwiający modelowanie zdarzeń i procesów zachodzących wewnątrz żywego organizmu. Jest to jednak fragmentaryczne odtworzenie określonego procesu regeneracyjnego na poziomie eksperymentalnym. Odzwierciedlenie dynamiki rzeczywistości w modelu zawsze prowadzi do uproszczeń, i w takim ujęciu rozpatrywanie informacji strukturalnej związane jest ze swoistym redukowaniem bogactwa nieznanymi procesów fizyko-chemicznych do wymogów ograniczonych potrzebami sterowania. To z kolei generuje kolejny problem według założeń my-

18. P. Lenartowicz, *Elementy filozofii zjawiska biologicznego*, Kraków 1984, s. 36-37.

19. Należy wyraźnie rozróżnić statyczny przebieg rozwoju od rozwoju dynamicznego. Rozważana w tym kontekście teleologia statyczna polega na rozwojowym ujmowaniu zmian ilościowych np. wzrost, rozrost określonej części organizmu. Zaś teleologia dynamiczna w przebiegu morfogenezy ujmuje swym zasięgiem zmiany ilościowe oraz zmiany jakościowe np. proces dotyczący wzrostu oraz kształtowania się formy określonego narządu, czy części ciała. Teleologia dynamiczna jest więc pojęciem opisowo bogatszym.

ślenia systemowego. Nie można precyzyjnie zdefiniować systemu jako określonego zbioru elementów i sprzężeń między nimi, które określają właściwości całości<sup>20</sup>. Przez takie niekompletne podejście możliwe jest tylko przybliżone ustalenie sterującej roli informacji strukturalnej (w charakterze ilościowym) podczas sprzężeń pomiędzy elementami w toku wyłaniania się nowych właściwości systemu (emergencja)<sup>21</sup>. Pomimo pewnych braków takiego ujęcia metodologicznego do badanych zjawisk, próbuje ono oddać naukowy obraz stanu faktycznego, odnoszącego się do regulacji procesów organicznych.

### **Model biocybernetyczny jako narzędzie w weryfikowaniu istoty informacji strukturalnej**

Układy biocybernetyczne rozpatrywane są często ze względu na ich właściwości dynamiczne, zachowanie się w czasie oraz rodzaj sygnału, który mogą przetwarzać. Sygnały wejściowe (operandy), docierając do układu, ulegają w nim transformacji na sygnały wyjściowe, zwane transformatami. Ze względu na charakter informacji strukturalnej<sup>22</sup> należałoby sprecyzować taki układ, którego wejście będzie stanowiło ustalony skończony zbiór argumentów oraz układy przetwarzające wielkości ciągle.

Wykorzystanie elementów biocybernetyki do badanych zjawisk regulacyjnych dałoby szerokie spektrum kombinacyjnego ustalenia możliwych czynników przyczynowych, wpływających na przebieg regeneracji organicznych, także stanowiących swoisty składnik informacji strukturalnej w wyzwaniu procesów odbudowy zniszczonych struktur organizmu żywego<sup>23</sup>. Z kolei w przypadku organizmu człowieka, tego typu wieloaspektowe podejście metodologiczne dałoby ogromną szansę na ostateczne poznanie (w ramach określonego procesu regeneracyjnego) mechanizmu morfogenetycznego, wyjaśniającego sedno sterowania w procesie odbudowy utraconych struktur danego organizmu<sup>24</sup>.

---

20. R. Tadeusiewicz, *Biocybernetyka. Metodologiczne podstawy dla inżynierii biomedycznej*, Warszawa 2014, s. 103-107.

21. K. Chodasewicz, *Emergencja w biologii – Redukcjonizm versus organicyzm*, „Filozofia i Nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne” 2014, t. 2, s. 386-390.

22. W tym kontekście pojęcie informacji strukturalnej będzie oznaczało sumę możliwych czynników przyczynowych, odpowiedzialnych za przebieg procesów związanych z określonym typem regeneracji organicznej.

23. Chodzi mi tutaj o przebieg regeneracji organicznej u organizmów, które z natury zaprogramowane są do odtwarzania kopii swoich części. Np. ogon u ryby Danio pręgowany.

24. Współcześnie uczeni potrafią schematycznie przeprowadzić wiele złożonych eksperymentów biologicznych, jednak nie potrafią ich przyczynowo wyjaśnić.

Pojawiającą się jednak trudnością wynikającą z takiego podejścia jest późniejszy opis ustalonych zjawisk dynamicznych przy użyciu narzędzi statycznych. W przypadku układów biologicznych postuluje się opis w postaci funkcji. Mają one zazwyczaj dość skomplikowaną formę i charakter nieliniowy, z tego względu w celu ich opisania stosuje się różne stopnie uproszczenia, które są uzależnione od dokładności przybliżenia, jakie chce się uzyskać<sup>25</sup>. Uproszczenia jednak, w dalszej perspektywie, mogą doprowadzić do rozbieżności poznawczych w przewidywaniu i opisywaniu wyników eksperymentalnych.

Np. w budowanym modelu komórki można przyjąć, że sygnały  $x$ , na wszystkich wejściach i sygnał  $y$  na wyjściu komórki są sygnałami cyfrowymi<sup>26</sup> o stosownie ustalonych wartościach pomiarowych. W tym sensie obecność impulsu przyczynowego oznaczana będzie wartością sygnału wynoszącą 1, a jego brak wyrażony będzie jako 0. W tej sytuacji opis funkcjonowania komórki zawierającej potencjalność rozwojową może być dany funkcją logiczną o argumentach  $x$ , ( $i = 1, \dots, u$ ) oraz wartości wynoszącej  $y$ . Najważniejszym zadaniem jest określenie postaci funkcji wiążącej wszystkie  $x$ ,  $z$   $y$ , przy czym oczywiste jest, że funkcja ta musi zależeć od pewnych parametrów charakteryzujących daną konkretną komórkę, gdyż każda komórka na każdym etapie rozwojowym pełni inną funkcję i przejmuje od innych komórek inne zadania w całościowym rozwoju organizmu. Takie założenie prowadzi do uwzględnienia stosownych zależności pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi komórki, jakie pełni w sieci<sup>27</sup>.

Przekazywany z jednej komórki do drugiej impuls przyczynowy może mieć różny wpływ na zachowanie komórki odbiorczej. Różnice te mogą być dwójakiego rodzaju. Po pierwsze, niektóre sygnały docierające za pośrednictwem określonych

25. G. Karch, A. Marciniak-Czochra, *Niestabilność i wybuchy w matematycznych modelach procesów biologicznych*, „Wiadomości Matematyczne” 2014, tom 50, nr. 1, s. 3-20.

26. Główna różnica między sygnałem analogowym i cyfrowym polega na tym, że w technologii analogowej informacja jest tłumaczona na przebiegi elektryczne o różnej amplitudzie, a w technologii cyfrowej informacja przekładane są na sygnał binarny – przyjmuje on wartości umownie nazywane „0” i „1”, które odpowiadają dwóm różnym przedziałom napięcia (zazwyczaj są to skrajne napięcia – masa i poziom zasilania), oraz zwykle obszar zabroniony rozdzielający przedziały dla «0» i «1». Można dodać, że sygnał cyfrowy przy odpowiednim kodowaniu może przyjmować więcej niż dwie wartości np. kodowanie na 4 przedziałach napięć umożliwi zapisanie w jednym stanie 2 bitów.

27. Stuart Kauffman skonstruował abstrakcyjną sieć regulacyjną połączeń do celów opisu zjawisk biologicznych, która – jak sam twierdził – opiera się na działaniu dynamicznym, tzn. jej węzły mają wejścia, na które podawane są sygnały wejściowe i wyjścia, na których pojawia się sygnał wyjściowy, tzw. stan węzła, jako wynik funkcji, której argumentami są sygnały wejściowe. Por. S. A. Kauffman, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, New York 1993, S. A. Kauffman, *Gene regulation networks: a theory for their global structure and behavior*, „Current Topics in Developmental Biology” 1971, t. 6, s. 145.

łączy wpływają na komórkę pobudzająco, to znaczy skłaniają ją do wygenerowania nowego impulsu przyczynowego, inne zaś, wprowadzane poprzez odmienne połączenia, hamują proces powstawania impulsów i utrudniają ich wysyłanie. W tym kontekście możemy mówić – jak zostało wykazane wyżej – o czasowym działaniu informacji strukturalnej. O tym, czy komórka ostatecznie wygeneruje impuls, czy też nie, decyduje wypadkowa pobudzeń i hamowań pomiędzy dodatnimi i ujemnymi oddziaływaniami poszczególnych wejść. Tak więc z każdym oddziaływaniem związać można znak dodatni dla wejść pobudzających i ujemny dla hamujących. Poszczególne wejścia różnią się nie tylko znakiem, ale i tak zwaną wagą. Jest to pojęcie sztucznie wprowadzone dla opisu faktu nierównomiernego wpływu poszczególnych wejść na proces pobudzania lub hamowania danej konkretnej komórki. Sygnały pochodzące z pewnych konkretnych wejść, odpowiadające pewnym ustalonym źródłom sygnału, mają silniejszy wpływ, niż analogiczne oddziaływania pochodzące od innych wejść i innych sygnałów.

## Zakończenie

Badania eksperymentalne dowiodły, że na poziomie narządów każda komórka wyczuwa swoją pozycję, oddziałując stosownie w odniesieniu do całości organizmu. Na poziomie tkanek i komórek każda komórka wymienia sygnały z innymi pobocznymi komórkami. Dlatego też poszukiwania informacyjnego mechanizmu przyczynowego w zakresie regeneracji poszczególnych części organizmu powinny zmierzać do wyjaśniania genetyki zasobu potencjalności komórki w stosunku do ustroju jako złożoności wielokomórkowej oraz powinny ujmować sposób wyrażania przez nią dynamicznej formy sterującej w czasie regeneracji. W badaniach tego typu należy uwzględnić fakt, że komórki ustroju znajdującego się w stanie embrionalnym do wyrażenia swojej mocy prospektywnej potrzebują informacji zewnętrznych w postaci rozmaitych substancji fizyko-chemicznych.

Hans Spemann (także wielu innych uczonych pracujących w tym duchu)<sup>28</sup> po przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych oraz wyciągniętych wnioskach

28. H. Spemann, *Embryonic Development and Induction*, New Haven, Connecticut, Yale University Press 1938. Zob. także prace eksperymentalne innych uczonych: P. S. Galtsoff, *Regeneration after dissociation (an experimental study on sponges). I. Behavior of dissociated cells of *microciona prolifera* under normal and altered conditions*, „Journal of Experimental Zoology”, 42, s. 183-221, V. L. Colucci, *Sulla rigenerazione parziale dell'occhio nei Tritoni. Istogenesi e sviluppo. Studio sperimentale*, „Mem. R. Acad. Sci. Ist. Bologna ser.” 1891, vol.1, s.167-203, G. Wolff, *Entwicklungsphysiologische Studien. I. Regeneration der Urodelenlinse*, „Wilhelm Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen” 1895, vol.1, s.380-390, H. Beisenhertz, *Experimentelle Erzeugung von Mehrfachbildungen bei Planarien*, Marburg 1928,

teoretycznych, miał problemy z metodologicznym doprecyzowaniem właściwości czynnika-organizatora (którego odpowiednikiem w niniejszej pracy jest informacja strukturalna) odpowiedzialnego za istotę przebiegu procesów regeneracyjnych. Pomimo tych trudności w zdefiniowaniu istoty samego organizatora uczony wyodrębnił dwie fundamentalne właściwości komórek zarodkowych: przeznaczenie rozwojowe komórek nie jest z góry ustalone, a ich los może być eksperymentalnie przekierowywany z normalnego szlaku rozwojowego. Współcześnie jednym z celów medycyny regeneracyjnej jest instruktażowe przekształcanie dorosłych komórek w inne typy komórek w celu naprawy i regeneracji tkanek. Chociaż znane są pojedyncze przykłady przeprogramowania komórek dorosłych, nie ma ogólnej wiedzy na temat kontrolowanego przekształcania jednego typu komórki w inny. Uczeni, stosując strategię ponownej ekspresji kluczowych regulatorów rozwojowych *in vivo*, identyfikują specyficzną kombinację trzech czynników transkrypcyjnych (Ngn3 - znanych również jako Neurog3, Pdx1 i Mafa), które przeprogramują zróżnicowane zewnątrzwydzielnicze komórki trzustki u dorosłych myszy w komórki, które bardzo przypominają komórki beta<sup>29</sup>.

Dlatego też w powyższych ramach badawczych należałoby dokładnie sprawdzić, w jakich granicach (i z jakim zasobem przyczynowym) informacja strukturalna może działać czasowo, celowo zawieszając rozwój wydarzeń w określonym układzie oraz w jaki sposób jej „wkroczenie” uwalniania potencjalność materii stosownie do ogólnych zasad zachowania energii. Kwestią fundamentalną jest bowiem ustalenie sposobu przyczynowego wyzwalań, przekazywania informacji strukturalnej pomiędzy poszczególnymi komórkami. Dokładnie chodzi o to, jak impuls jednej komórki zostaje wprowadzony jako sygnał wejściowy do kolejnej komórki w określonej sieci regeneracyjnej. Jednoznaczne ustalenie połączeń pomiędzy poszczególnymi komórkami wraz z ich wzajemnymi oddziaływaniami w zasadniczy sposób może przyczynić się do zrozumienia procesów informacyjnych przebiegających w poszczególnych komórkach oraz w całości sieci – jako organizmu podczas regeneracji jego struktur. W tym zakresie budowane modele cybernetyczne w oparciu o wieloaspektowe kombinacje systemowe przyczyn fizyko-chemicznych, mogłyby ostatecznie przyczynić się do jednoznacznego zrozumienia istoty procesów regeneracyjnych przebiegających u człowieka, przez to podnieść stan jego zdrowia oraz komfort i jakość życia.

---

s. 257-313, Q. Zhou, J. Brown, A. Kanarek, J. , and D. A. Melton, *In vivo reprogramming of adult pancreatic exocrine cells to beta-cells*, „Nature” 2008, vol.455, pp. 627-632.

29. Zob. Q. Zhou, J. Brown, A. Kanarek, J. , and D. A. Melton, *In vivo reprogramming of adult pancreatic exocrine cells to beta-cells*, „Nature” 2008, vol.455, pp. 627-632.

## Bibliografia

- Aristotle, *De anima*, II, 412 i 20-22.
- Arystoteles, *De iuv. et sen.*, 2, 468 a 26-468 b 3
- Atlan H., Cohen I. R., *Immune information, self-organization and meaning*, International Immunology, Vol. 10, No. 6, Oxford University Press 1998, s. 711-717.
- Bäumer-Schleinkofer A., *Die Geschichte der beobachtenden Embryologie: Die Hühnchenentwicklung als Studienobjekt über zwei Jahrtausende*, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien 1993.
- Beissenhirtz H., *Experimentelle Erzeugung von Mehrfachbildungen bei Planarien*, Marburg 1928, 132, s. 257-313
- Campbell D. T., *Downward causation in hierarchically organized biological systems*, w F.J. Ayala and T. Dobzhansky (eds.), *Studies in the philosophy of biology: Reduction and related problems*, 1974, s. 179-186.
- Chodasewicz K., *Emergencja w biologii – Redukcjonizm versus organicyzm*, „Filozofia i Nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne” 2014, t. 2, s. 386-390.
- Colucci V. L., *Sulla rigenerazione parziale dell'occhio nei Tritoni. Istogenesi e sviluppo. Studio sperimentale*, „Mem. R. Acad. Sci. 1st Bologna ser.” 1891, vol.1, s.167-203
- Driesch H., *Philosophie des Organischen*, Leipzig 1921.
- Dürr H. P., Popp F. A., Schommers W., w *Elemente des Lebens. Naturwissenschaftliche Zugänge – philosophische Positionen*, Die Graue Edition, Germany 2000: L. von Klitzing, *Kommunikation – Die Basis des Lebens*, s. 215-216.
- Dürr H. P., Popp F.A., Schommers W., w *Elemente des Lebens. Naturwissenschaftliche Zugänge – philosophische Positionen*, Die Graue Edition, Germany 2000: H. J. Fischbeck, *Zum Wesen des Lebens. Eine physikalische, aber nicht – reduktionistische Betrachtung*, s. 263-268.
- Galtsoff P. S., *Regeneration after dissociation (an experimental study on sponges). I. Behavior of dissociated cells of microciona prolifera under normal and altered conditions*, „Journal of Experimental Zoology”, 42, s. 183-221
- Gecow A., *Informacja, formalna celowość i spontaniczność w podstawach definicji życia* (I odcinek szkicu dedukcyjnej teorii życia), „Filozofia i nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne” 2013, nr. 1, s. 83-113.
- Karch G., Marciniak-Czochra A., *Niestabilność i wybuchy w matematycznych modelach procesów biologicznych*, „Wiadomości Matematyczne” 2014, tom 50, nr. 1, s. 3-20
- Kauffman S. A., *Gene regulation networks: a theory for their global structure and behavior*, „Current Topics in Developmental Biology” 1971, t. 6, s. 145
- Kauffman S. A., *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York 1993.

- King T. J., Briggs R., *Serial transplantation of embryonic nuclei*, „Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology” 1956, 21, s. 271-279.
- Kuźnicki L., Urbanek A., *Zasady nauki o ewolucji*, t. 2, Warszawa 1970, s. 303-304.
- Lenartowicz P., *Elementy filozofii zjawiska biologicznego*, Kraków 1984.
- Needham J., *A history of embryology*, New York 1959.
- Needham J., *Chemical embryology* cz. I, New York 1931.
- Spemann H., *Embryonic Development and Induction*, New Haven, Connecticut, Yale University Press 1938
- Spemann H., Mangold H., *Über Induktion von Embryonalanlagen durch Implantation artfremder Organisatoren*, „Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik”, 1924, t. 100, s. 599-638.
- Szkutnik D. A., *Aristotle and Hans Driesch. Substantial form μορφή and entelechy ἐντελέχεια as basic categories integrating organic development*, *Biocosmology – Neo-Aristotelism*, vol. 8, No.1, Winter 2018, s. 74-89.
- Szkutnik D. A., *In search of the specific parameter of life – general methodological comments*, *Biocosmology – neo-Aristotelism* 2016, Vol. 6, Nos. 3&4, s. 453-464.
- Szkutnik D. A., *Metodologiczne podstawy „organizatora” w zakresie zjawisk embriologicznych według Hansa Spemanna*, „Archiwum Historii i Filozofii Medycyny” 2017, tom. 80, s. 30-37.
- Szkutnik D. A., *W poszukiwaniu przyczyn dynamicznego rozwoju organicznego. Uwagi metodologiczne*, „Filozofia i nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne” 2019, tom. 7, cz. 2, s. 183-190.
- Tadeusiewicz R., *Biocybernetyka. Metodologiczne podstawy dla inżynierii biomedycznej*, Warszawa 2014.
- Urbanek A., *Organization and Evolution of Animal Colonies*, „Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences” 2003, t. 30, s. 1-8.
- Warchoń W., Świdziński T., Jaroszyk F., *Elementy teorii informacji i sterowania: w Biofizyka*, red. F. Jaroszyk, Warszawa 2008, s. 266-269.
- Wolff C. F., *Theorie von der Generation* in zwo Abhandlungen, Berlin 1764.
- Wolff G., *Entwicklungsphysiologische Studien. I. Regeneration der Urodelenlinse*, „Wilhelm Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen” 1895, vol.1, s. 380-390.
- Zhou Q, Brown J., Kanarek A., Melton D. A., *In vivo reprogramming of adult pancreatic exocrine cells to beta-cells*, *Nature* 2008, vol.455, pp.627-632.

## Streszczenie

Kluczowym elementem procesów rozwojowych jest kategoria informacji strukturalnej, która nadaje dynamiczny charakter istnienia całości organicznej. Jej

przejawy przyczynowego działania dostrzegane były już w starożytności przez Arystotelesa podczas obserwacji rozwoju organizmów. Dzisiaj manifestuje się ona dobitnie na płaszczyźnie badań eksperymentalnych dotyczących regeneracji organicznych. Nadal jednak informacja strukturalna jako przyczynowy parametr wymaga jednoznacznego ustalenia w kontekście swojego „sterującego działania” na płaszczyźnie materii i energii.

**Słowa kluczowe:** informacja strukturalna, materia, energia, termodynamika, biocybernetyka, embriologia.

## CAUSALITY IN BIOLOGICAL SYSTEMS DYNAMIC ACTION OF STRUCTURAL INFORMATION IN THE COURSE OF ORGANIC REGENERATION

### Summary

The fundamental element of developmental processes is the category of structural information, which gives the dynamic character to the existence of an organic whole. The manifestations of its causal action were noticed already in antiquity by Aristotle, while observing the development of organisms. Today, it manifests itself clearly in the field of experimental research on organic regeneration. Still, however, structural information as a causal developmental parameter requires an unequivocal definition in the context of its “controlling action” in relation to matter and energy.

**Key words:** structural information, matter, energy, thermodynamics, biocybernetics, embryology.