

# Cybernetyczna analiza zjawiska życia

Andrzej Bielecki

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki,  
Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,  
Katedra Informatyki Stosowanej

## Cybernetic analysis of the phenomenon of life

Abstract

In this paper the life phenomenon is analysed from cybernetic point of view. The Korzeniewski's approach is discussed and complemented. The analysis is based on autonomous systems theory and information metabolism theory. Philosophical aspects of the problem are taken into consideration as well.

Keywords

definition of life; life phenomenon; autonomous system; information metabolism; aliwon

## 1. Wstęp

Współczesna nauka, która legitymuje się dużymi sukcesami w badaniach o charakterze analitycznym, doświadcza niemałych trudności przy badaniu problemów, które z natury swojej mają charakter syntetyczny. Dzieje się tak zwłaszcza wtedy, gdy w badaniach tych pojawia się istotny aspekt filozoficzny. Jednym z problemów tego typu jest zjawisko życia jako takiego. W literaturze naukowej sygnalizowane są rozliczne problemy, m.in. natury lingwistycznej i filozoficznej, związane z próbami analizy zjawiska życia (Cleland, 2011; Oliver i Perry, 2006; Parke, 2012; Shields, 2011), co jest źródłem wielu, istotnie różnych prób jego definiowania (Luisi, 1998). Wspomniane różnice biorą się stąd, że na obecnym etapie badań jako kluczowe dla zjawiska życia mogą być przyjmowane różne struktury, procesy lub własności. Istotnym przyczynkiem są badania nad ontologicznymi relacjami między życiem jako zjawiskiem a żyjącym organizmem (Ereshefsky i Pedroso, 2012; Parke, 2012). Generalnie, w próbach ogólnego ujęcia życia jako zjawiska, można wyróżnić następujące podejścia:

**Biologiczno-biochemiczne.** W tym podejściu można wyróżnić kierunki, w których za kluczowe dla zjawiska życia uznaje się co najmniej jeden z poniższych faktów lub zjawisk: rozmnażanie i ewolucję (Clancy, Brack i Horneck, 2005; Gánti, 1975; Muller, 1955, 1966);

fakt, że organizmy żywe są zbudowane z organicznych składników dokonujących organicznej syntezy (Oliver i Perry, 2006).

**Fizyczne.** W tym podejściu przyjmuje się, że kluczowe dla życia są zjawiska fizyczne. W konsekwencji, układ żywy jest rozpatrywany jako układ fizyczny. W zależności od tego, jakie zjawiska fizyczne przyjmuje się jako kluczowe, przyjmowane są następujące punkty wyjścia jako początek rozważań:

organizmy żywe to otwarte, dyssypatywne układy fizyczne, dalekie od stanu równowagi termodynamicznej (Prigogine, 1980; Prigogine i Stengers, 1984);

organizmy żywe to układy fizyczne, w których zachodzi przewodnictwo elektromagnetyczne na poziomie molekularnym i komórkowym (Sedlak, 1988);

w organizmach żywych kluczowe są (hipotetyczne) zjawiska kwantowe na poziomie komórki biologicznej (Davies, 2004, 2009).

**Cybernetyczne.** W tym podejściu żyjąca jednostka jest konsekwentnie traktowana jako układ cybernetyczny, czyli system egzystujący w swoim środowisku i komunikujący się z nim poprzez swoje wejścia i wyjścia. W cybernetycznej analizie zjawiska życia jako punkt wyjścia przyjmuje się alternatywnie, że:

organizmy żywe są systemami hierarchicznymi (Bertalanffy, 1984);

organizmy żywe są systemami samoorganizującymi, sukcesywnie zwiększającymi poziom swej organizacji (Hellerman, 2006);

organizmy żywe są systemami w specyficzny sposób przetwarzającymi informację, materię i energię (Bielecki, 2015; Kępiński, 1974; Nurse, 2008; Perez Velazquez, 2009);

organizmy żywe są systemami samonaprawiającymi się (Rosen, 1966, 1967);

organizmy żywe są systemami autonomicznymi (Bielecki, 2015; Rosslenbroich, 2009).

**Hybrydowe.** W tego typu podejściach jako kluczowe przyjmuje się co najmniej dwa spośród powyższych aspektów. Jako przykład hybrydowego podejścia do analizy zjawiska życia można wymienić koncepcję chemotonu jako najmniejszej możliwej funkcjonalnej jednostki życiowej (Gánti, 1975). Koncepcja chemotonu plasuje się na pograniczu podejścia biochemicznego i cybernetycznego.

Tematem niniejszej analizy jest propozycja Korzeniewskiego analizy zjawiska życia (Korzeniewski, 2001, 2005, 2011), wpisująca się w podejście cybernetyczne. W przeciwieństwie do większości autorów, którzy analizują jedynie życie znane obecnie na Ziemi, Korzeniewski stawia sobie za cel wprowadzenie uniwersalnej definicji życia nie tylko w obecnie znanej formie, ale również wszelkich form życia obecnych kiedykolwiek na Ziemi jak też wszelkich zjawisk życiowych możliwych do zaistnienia w kosmosie. Ten ambitny program uchwycy-

cenia istoty zjawiska życia jako takiego jest źródłem nie tylko rozlicznych trudności metodologicznych, ale również interesujących pytań z zakresu filozofii nauki. Celem niniejszego artykułu jest ich analiza, jak też propozycja uzupełnienia podejścia Korzeniewskiego. Kolejnym interesującym problemem jest pytanie, czy tego typu badania są potrzebne, a jeśli tak, to czy są możliwe na obecnym etapie rozwoju nauki. Ten problem zostanie przeanalizowany w następnym rozdziale.

## 2. Motywacja do badań nad zjawiskiem życia

Badania dotyczące istoty zjawiska życia nie leżą w głównym nurcie współczesnej biologii. Przyjmuje się jako wystarczające, że intuicyjnie wiadomo, czym jest życie. W rozważaniach teoretycznych standardowo przyjmuje się, że ewolucja, metabolizm i prokreacja stanowią bazę zjawiska życia. Takie intuicyjno-zdroworozsądkowe podejście jest wystarczające do pewnego etapu rozwoju danej gałęzi nauki. Historia nauki pokazuje jednak, że dobra baza teoretyczna jest niezbędna, gdy na gruncie danej gałęzi nauki zaczynają być badane problemy złożone, dalekie od codziennej intuicji. Przyjrzyjmy się, z historycznej perspektywy, jak ten problem zmanifestował się w matematyce – nauce znacznie od biologii starszej.

W matematyce pojęcie *zbioru* jest jednym z podstawowych pojęć. Do końca XIX w. było ono używane intuicyjnie, jako ogół obiektów o pewnej własności, np. jako pewne liczby

z możliwymi do wykonania na nich operacjami arytmetycznymi, np. liczby naturalne. Dopóki rozważano jedynie skończone zbiory, naiwne podejście do pojęcia zbioru było wystarczające. Już jednak starożytni Grecy odkryli kilka problemów związanych z wprowadzeniem do rozumowań logicznych pojęcia nieskończoności. W XVII w. Galileusz zauważył, że istnieje bijektywne odwzorowanie zbioru liczb naturalnych na pewien jego właściwy podzbiór. Pod koniec XIX w. Cantor zaczął rozważać zbiory jako takie, zadowalając się intuicyjnym rozumieniem zbioru. Takie intuicyjne podejście, dziś określane jako *naiwna teoria mnogości*, szybko doprowadziło do paradoksów. Przyczyną jednego z nich było założenie, które wydawało się oczywiste, że istnieje zbiór wszystkich zbiorów. Do kolejnych paradoksów doprowadziło również oczywiste na pozór założenie, że dowolny ogół obiektów jest zbiorem. Aksjomatyczna teoria zbiorów, zaproponowana przez Zermelo w 1908 roku, jak również teoria mocy zbiorów, zapoczątkowana przez Cantora, pozwoliły rozwiązać powstałe paradoksy. Trzeba nadmienić, że wspomniane wyniki bynajmniej nie zamknęły problemu. Zwłaszcza wyniki uzyskane przez Gödla w latach trzydziestych XX w. rzuciły nowe światło na całe zagadnienie i prace nad podstawami teorii mnogości są prowadzone do dziś.

Współczesna biologia właśnie osiąga ten etap, na którym intuicyjne rozumienie życia przestaje być wystarczające. Dotychczas badano jedynie ziemskie życie, z którego przejawami spotykamy się na co dzień i w związku z tym mamy wyrobione stosunkowo dobre intuicje dotyczące zjawisk życiowych. Pod

koniec XX w. wyłoniły się jednak następujące gałęzie badawcze, dla których dotychczasowe intuicje mogą okazać się dalece niewystarczające.

1. Badania astrobiologiczne, polegające na poszukiwaniu życia poza Ziemią. W związku z tą problematyką prowadzi się na gruncie biologii badania nad ekstremofilami – organizmami tolerującymi skrajne warunki środowiskowe lub wręcz żyjącymi w takich warunkach. Szczególnie interesującymi z astrobiologicznego punktu widzenia są ekstremofile, które ani bezpośrednio, ani pośrednio nie korzystają z energii słonecznej wykorzystując jedynie energię chemiczną (Clancy, Brack i Horneck, 2005; Lane, 2009).
2. Badania dotyczące możliwości laboratoryjnej syntezy układów żywych. Badania te dotyczą możliwości zarówno syntezy układów żywych tego typu, jakie znamy na Ziemi, jak również opartych na innych zasadach funkcjonowania, w szczególności utworzonych z innego budulca niż białka, DNA i RNA (Bedau, 2011).
3. Badania dotyczące powstania życia na Ziemi. Już Darwin wyrażał pewne opinie na ten temat (Darwin, 1871a). Historycznie, w XX w. pojawiały się różne teorie (Haldane, 1928; Опарин, 1924; Опарин, 1953) oraz wykonywano eksperymenty częściowo je potwierdzające (Clancy, Brack i Horneck, 2005; Lane, 2009; Miller, 1953; Oró, 1961; Wächtershäuser, 2006). Są one jednak

dalekie od kompletności i wielu badaczy traktuje je sceptycznie (Dose, 1988; Kauffman, 1995; Shapiro, 1986).

4. Badania dotyczące sztucznego życia, tzn. takich układów, które nie są żywe, ale przejawiają pewne funkcjonalności układów żywych, por. np. (Korzeniewski, 2011).

Oczywiste jest, że w przypadku astrobiologii oraz laboratoryjnej syntezy układów żywych opartych na innych zasadach niż życie znane obecnie, posiadanie teoretycznej bazy pozwalającej rozstrzygać, czy badany układ jest żywy, czy nie, jest niezbędne. W przypadku badania początków życia na Ziemi, jak też sztucznego życia, dobra teoria jest co najmniej pomocna. W przypadku ostatniej wymienionej problematyki badania nad sztuczną inteligencją, mające już ponad pięćdziesięcioletnią historię, mogą posłużyć jako punkt odniesienia – dobre podstawy teoretyczne okazywały się niezwykle pomocne.

### 3. Cybernetyczne podejście Korzeniewskiego

Korzeniewski postulował pięć podstawowych własności, które powinna spełniać uniwersalna definicja życia (Korzeniewski, 2005):

1. Powinna definiować żyjącą jednostkę (*living individual*) przy użyciu metod formalnych – matematyki, cybernetyki.



2. Powinna bazować jedynie na najbardziej fundamentalnych własnościach życia.
3. Powinna dostarczać kryterium, które pozwoli jednoznacznie odróżnić żyjącą jednostkę nie tylko od układów nieożywionych, ale też społeczeństw, czyli układów będących grupami żyjących jednostek pozostających wzajemnie w pewnych funkcjonalnych i, ewentualnie, strukturalnych relacjach (np. kolonie); wspomniane kryterium powinno też pozwalać na odróżnienie żyjącej jednostki od takich układów biologicznych, jak np. ekosystem.
4. Powinna definiować podmiot podlegający biologicznej ewolucji.
5. Powinna umożliwić zdefiniowanie informacji biologicznej.

W ramach podejścia proponowanego przez Korzeniewskiego (2001), żyjąca jednostka *jest układem pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego podporządkowanym pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego*<sup>1</sup>. Zbiór pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego tworzy wielopoziomowy mechanizm regulacyjny mający za zadanie podtrzymać egzystencję żyjącej jednostki. Pętla dodatniego sprzężenia zwrotnego ma zapewnić rozmnażanie. Zdefiniowana w powyższy sposób jednostka żyjąca – ewoluon, jest podmiotem procesu ewolucji biologicznej (Korzeniewski, 2001).

---

<sup>1</sup> Powyższa definicja jest pokrewna idei przedstawionej w: (Lem, 1972, rozdz. 3).

Wprowadzona definicja żyjącej jednostki, czy też używając terminologii cybernetycznej, układu żywego, pozwala w naturalny sposób zdefiniować informację biologiczną<sup>2</sup>. Mianowicie, system pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego konstituuje cybernetyczną tożsamość jednostki biologicznej kodując informację opisującą tę jednostkę. W związku z tym, ilość informacji biologicznej, oznaczmy ją jako  $I_B$ , zakodowana w układzie żywym, jest dana wzorem:  $I_B = \log_2 \sum_{i=1}^n k_i$ , gdzie  $n$  oznacza liczbę ujemnych sprzężeń zwrotnych w danym układzie, natomiast  $k_i$  jest liczbą stanów rozpoznawanych przez  $i$ -tą pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego. W przypadku kolonii, stopień indywidualności  $D(j)$ ,  $j$ -tego składnika kolonii jest dany wzorem

$$D(j) = \frac{I_{B_w}(j)}{I_{B_w}(j) + I_{B_z}(j)}$$

gdzie  $I_{B_w}(j)$  jest informacją biologiczną zakodowaną w  $j$ -tym osobniku, kodowaną przez jego wewnętrzne sprzężenia zwrotne, natomiast  $I_{B_z}(j)$  jest informacją kodowaną przez pętle sprzężenia zwrotnego sprzęgające danego,  $j$ -tego osobnika z kolonią (Korzeniewski, 2001).

<sup>2</sup> W niniejszym artykule przedstawiona została definicja w wersji zaprezentowanej w (Korzeniewski, 2005), która różni się nieco od wersji podanej w (Korzeniewski, 2001).

#### 4. Podejście Korzeniewskiego jako koncepcja przełomowa

W niniejszym rozdziale podejście Korzeniewskiego jest analizowane od strony metodologicznej. Metodologicznym programem omawianego podejścia są zacytowane w poprzednim rozdziale postulaty dotyczące własności uniwersalnej definicji życia. Wątpliwości budzą drugi i czwarty punkt. Drugi punkt, na obecnym etapie rozwoju biologii, nie jest możliwy do zrealizowania. Jeśli życie na Ziemi nie jest jedyną formą życia w kosmosie lub jest jedyną dotychczas w kosmosie obecną, ale możliwe są również inne formy, np. utworzone laboratoryjnie, to musielibyśmy najpierw dysponować reprezentatywną próbką żyjących układów różnego typu i dopiero na podstawie ich znajomości próbować rozstrzygać, które własności są fundamentalne dla zjawiska życia. Jeśli natomiast życie znane na Ziemi jest jedyną możliwą jego formą, to wybór jego podstawowych własności zawsze będzie miał istotnie arbitralny aspekt. Jednakże nawet w takim przypadku cały program badawczy ma sens ze względu na badania nad sztucznym życiem. Czwarty punkt wychodzi natomiast poza postulowaną w pierwszym punkcie metodologię nauk ścisłych. Postuluje on, że ewolucja w takiej formie, w jakiej obecnie jest postrzegana na gruncie biologii, jest jedną z fundamentalnych własności zjawiska życia jako takiego. Oczywiście jest, że układy żywe charakteryzują się zmiennością i dynamiką, która w przypadku życia ziemskiego przejawia się, między innymi, jako zjawiska ewolucyjne. Na obecnym etapie

badania nad życiem nie można jednak stwierdzić, że ewolucja typu neodarwinowskiego jest immanentną cechą życia. Przykładowo, w skrajnej formie koncepcji Gai, cała Ziemia jest traktowana jako jeden żyjący organizm (Lovelock, 1979). Organizm tego typu wykazuje się, jak wspomniano, dynamiką, jednak jako całość nie ewoluuje. W związku z tym, jeśli czwarty postulat Korzeniewskiego z jednej strony ma się odnosić do znanego życia a z drugiej strony nie pozostawać w sprzeczności z wymaganiami sformułowania teorii wyłącznie na gruncie nauk ścisłych, w szczególności cybernetyki, powinien brzmieć następująco:

Życie w znanej obecnie na Ziemi formie powinno być szczególnym przypadkiem opisywanym przez postulowaną teorię. W szczególności, dla znanego życia powinna wynikać możliwość lub konieczność ewolucji w obecnie znanej formie.

W analizie definicji zjawiska życia zaproponowanej przez Korzeniewskiego należy wyróżnić dwa aspekty: formalną definicję (Korzeniewski, 2001) zacytowaną powyżej oraz dyskusję i przykłady (Korzeniewski, 2001, 2005), które w sposób niejawni doprecyzowują wspomnianą definicję, częściowo niwelując jej formalne niedostatki. Z cybernetycznego punktu widzenia formalna definicja żyjącej jednostki (Korzeniewski, 2001) ma istotne mankamenty:

używa pojęcia *podporządkowany*, które nie jest pojęciem cybernetycznym;

abstrahuje od modułów, które mają być sprzęgane przez pętle sprzężenia zwrotnego;

istnieją układy nieożywione, które spełniają definicję, co również dyskutuje Autor (Korzeniewski, 2011).

istnieją jednostki żywe, np. mrówki robotnice, które nie spełniają definicji, na co wskazuje sam Autor (Korzeniewski, 2001).

Użycie pojęcia *podporządkowany*, które w definicji odgrywa istotną rolę, a które nie jest pojęciem cybernetycznym, ani nawet w potocznym znaczeniu nie jest pojęciem jednoznacznym, jest niewątpliwie metodologicznym niedostatkiem, gdyż pozostaje w sprzeczności z postulatem zdefiniowania zjawiska życia jedynie na gruncie nauk ścisłych. Jednakże analiza dyskusji i przykładów podanych przez Autora w (Korzeniewski, 2001, 2005) pozwala wnioskować, że w tym wypadku chodzi o dostarczenie homeostatycznej platformy, która nie tylko pozwala skutecznie realizować pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego, ale jej realizacja jest jednym z najważniejszych punktów algorytmu działania tej platformy. Przechodząc do drugiego zarzutu, pojęcie sprzężenia zwrotnego ma istotne niuanse, na które, na ogół, nie zwraca się uwagi. Zazwyczaj przyjmuje się milcząco, że działa ono między systemami cybernetycznymi, czyli układami, które egzystują w pewnym środowisku, odbierają z niego sygnały, energię i materię za pomocą wejść, przetwarzają sygnały konstytuując informację jak też przetwarzają energię i materię oraz oddziałują na środowisko poprzez swoje wyjścia.

Jednakże sprzężenie zwrotne może działać między strukturami, które nie są systemami cybernetycznymi – przykłady tego typu dyskutowane są w pracy (Ashby, 1963, rozdz. 4). Z dyskusji i przykładów (Korzeniewski, 2001, 2005) wynika jednoznacznie, że rozważa on jedynie systemy cybernetyczne, niemniej jednak literalne potraktowanie proponowanej przez niego definicji układu żywego pozwala na podanie prostego przykładu struktury nieożywionej, która formalnie spełnia podaną definicję układu żywego (por. Bielecki, 2015, sekc. 5). Sam Autor podaje znacznie bardziej złożony przykład układu techno-industrialnego, który spełnia postulowaną definicję układu żywego (Korzeniewski, 2011; por. też Bielecki, 2015, sekc. 3, gdzie przykład ten jest skrótowo omówiony). Czwarty wymieniony powyżej zarzut jest istotnie słabszy od trzech pierwszych – według Korzeniewskiego, jednostką żyjącą (*evoluon*) jest całe społeczeństwo owadów, np. rój pszczół, a nie pojedynczy owad (Korzeniewski, 2001). Stanowisko takie, choć pozostaje w pewnej sprzeczności z przyjmowanymi powszechnie standardami, jest jednak możliwe do obrony.

Pomimo wspomnianych mankamentów należy podkreślić, że podejście Korzeniewskiego jest niezwykle owocne. Uznać je należy za podejście przełomowe, tzn. pośrednie między Kuhnowską *nauką normalną* a *rewolucją naukową* (Kuhn, 1962, 1968). Podejście przełomowe, czy też przełomową teorię naukową, zdefiniujemy jako podejście, które nie mieści się już w ramach Kuhnowskiej nauki normalnej, ale nie zmienia paradygmatu, ujmując jednakże przedmiot badań z zupełnie nowej

perspektywy. Przykładem teorii przełomowej w tym znaczeniu jest koncepcja endosymbiozy, zgodnie z którą mitochondria i chloroplasty jako organelle komórek eukariotycznych powstały na drodze endosymbiozy bakterii (Margulis, 1970). Przełomowość podejścia polegała na wysunięciu postulatu, że zjawiska symbiotyczne, w szczególności endosymbioza, są istotnym mechanizmem ewolucji, czego neodarwinizm nie dopuszczał, aczkolwiek postulat ten nie stoi z neodarwinizmem w sprzeczności, jedynie istotnie go uzupełnia. W przypadku koncepcji Korzeniewskiego przełomowość polega na analizie zjawiska życia przy użyciu metodologii i teorii całkowicie zewnętrznej w stosunku do biologii. Dzięki temu pojawia się szansa, aby rozpracować istotę zjawiska życia w całej jego ogólności, a nie tylko w znanym kontekście biologicznym, co jest kluczowe m.in. w badaniach nad sztucznym życiem.

Mimo wymienionych mankamentów, pięć postulatów proponowanych przez Korzeniewskiego jest, po niewielkich poprawkach, dobrą metodologiczną podstawą do badań nad życiem. Zaproponowana definicja, będąc koncepcją przełomową, stanowi również istotny krok naprzód w badaniach nad życiem. Mimo wysuniętych w stosunku do niej istotnych zastrzeżeń, podkreślić należy, że koncepcja ustrukturalizowanego układu pętli sprzężenia zwrotnego, uwypuklenie roli homeostazy (ujemne pętle sprzężenia zwrotnego), jak też zdefiniowanie informacji biologicznej i zapostulowanie narzędzia do jej pomiaru są istotnymi osiągnięciami. Również dyskusja kontrprzykładu (Korzeniewski, 2011) jest cenna metodologicznie, spełniając

postulat testowania teorii aż do jej granic (Popper, 1972, rozdz. 4.9). Wspomniane zastrzeżenia są usuwalne – w pracy (Bielecki, 2015) zaprezentowano modyfikacje koncepcji Korzeniewskiego, które zostaną streszczone w następnym rozdziale. W tym miejscu nadmienić jeszcze należy, że jedynie analiza zjawiska życia przy pomocy metod formalnych – cybernetycznych i matematycznych, wzbogaconych o prawa fizyki – pozwala na analizę ogólnych problemów takich, jak np. wymienione przez Bedau (1998):

1. Jak mają się do siebie różne formy życia na różnych poziomach złożoności układów żywych?
2. Czy taksonomiczne przejście od materii nieożywionej do układów żywych ma charakter ciągły?
3. Czy własności układów żywych wynikają raczej z ich struktury, czy też raczej z rodzaju budulca?
4. Czy umysł lub świadomość mogą być osadzone jedynie w układzie żywym?

## 5. Uzupełnienie podejścia Korzeniewskiego

Uzupełnienie podejścia Korzeniewskiego opiera się na dwóch teoriach, które powstały, niezależnie od siebie, w Polsce na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych dwudziestego wieku: teorii układów autonomicznych Mazura (1966, 1976) i teorii metabolizmu informacyjnego Kępińskiego (1970,



1974, 1972, 1977). Obie teorie są wysoce oryginalne i co najmniej przełomowe w znaczeniu zdefiniowanym w poprzednim rozdziale. Nie weszły jednak do światowego obiegu myśli naukowej, mimo że w obu przypadkach ich twórcy wykazali dużą efektywność aplikacyjną swoich teorii. Do niedawna nie było prób konstruowania modeli, w których obie teorie byłyby wykorzystywane równocześnie ani w aspekcie teoretycznym, ani aplikacyjnym – wydaje się, że praca (Bielecki, 2007) jest pierwszą w ogóle, a na pewno pierwszą anglojęzyczną, w której obie teorie są zastosowane w celu stworzenia modelu pewnych funkcjonalności układów żywych – w przypadku wspomnianej publikacji chodziło o dynamikę stanów psychiki. Znacznie dalej idącą próbą zintegrowania obu teorii jest propozycja uzupełnienia podejścia Korzeniewskiego (Bielecki, 2015). W niniejszym rozdziale uzyskane wyniki zostały streszczone.

Podstawą teorii układów autonomicznych Mazura jest stwierdzenie, że na najwyższym poziomie organizacja każdego układu autonomicznego jest taka sama. Składa się on z następujących modułów.

### **Receptor**

jest modułem wejściowym, przy pomocy którego system pobiera z otoczenia sygnały, dokonuje ich transformacji na wewnętrzny kod systemu i przesyła do korelatora.

### **Alimentator**

jest modułem wejściowym, przy pomocy którego system pobiera z otoczenia energię, dokonuje jej transformacji do

postaci, w której system może ją przechowywać i przesyła ją do akumulatora. Należy podkreślić, że termin *energia* ma w cybernetyce szersze znaczenie niż w fizyce i oznacza wszystkie środki, które są niezbędne do działania systemu. Przykładowo, rozpatrując na gruncie cybernetyki ekonomicznej pojedynczą firmę jako system autonomiczny energią w sensie cybernetycznym będą m.in. środki finansowe.

### **Efektor**

jest modulem wyjściowym, przy pomocy którego system oddziałuje na otoczenie.

### **Akumulator**

jest modulem wewnętrznym, który przechowuje energię systemu.

### **Korelator**

jest modulem wewnętrznym, który z pobranych sygnałów tworzy informację i przechowuje ją.

### **Homeostat**

jest modulem wewnętrznym, który sterując całym systemem ma jako główne zadanie utrzymać funkcjonalną równowagę systemu (Ashby, 1948, 1963, 1962).

W oryginalnym ujęciu Mazura powyższe moduły konstytuują dwie linie systemu – energetyczną, złożoną z alimentatora, akumulatora i efektora oraz informacyjną, złożoną z receptora, korelatora i efektora. Obie te linie są sprzężone przy pomocy homeostatu pętlami ujemnego sprzężenia zwrotnego. Mazur zastosował swoją teorię do analizy technicznych układów au-

tomatycznych (Mazur, 1966) oraz do analizy dynamiki pewnych składowych psychiki dorosłego człowieka (Mazur, 1976). W obu tych przypadkach opisana struktura układu była wystarczająca. Jednakże przy rozpatrywaniu zjawiska życia trzeba uwzględnić fizyczny wzrost systemu, jego możliwości samonaprawcze i zdolność do samopowielania, czyli tworzenia lub współtworzenia systemów tego samego typu. Dlatego też niezbędne było wprowadzenie trzech kolejnych modułów systemu (Bielecki, 2015).

**Absorber**

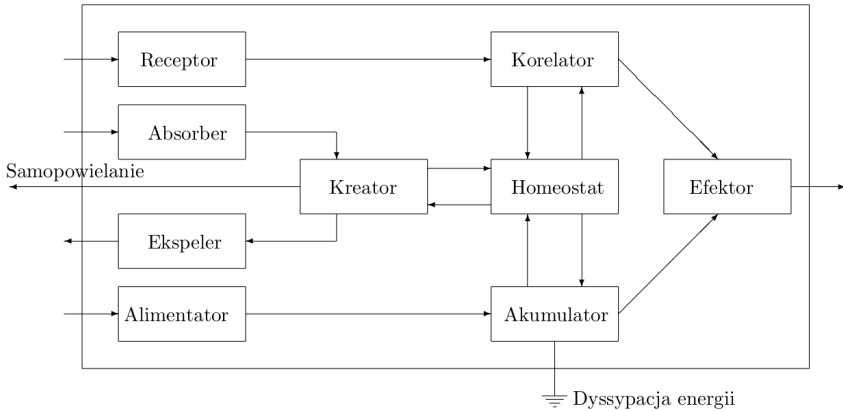
jest modułem wejściowym, przy pomocy którego system pobiera z otoczenia materię, dokonuje jej transformacji na postać użyteczną dla systemu i przesyła ją do kreatora.

**Ekspeller**

jest modułem wyjściowym, przy pomocy którego system usuwa zbędną materię.

**Kreator**

jest modułem wewnętrznym, przy pomocy którego system sam siebie buduje i naprawia oraz powiela się.

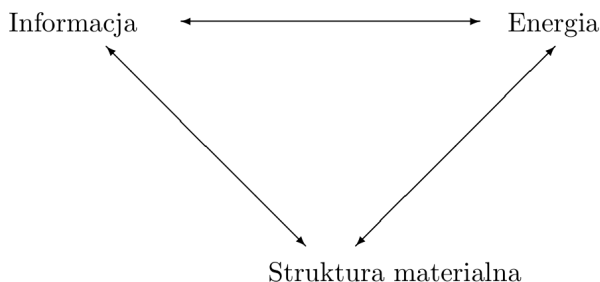


Rys. 1. Schemat systemu kreatywnego

Powyższe moduły konstytuują linię kreacyjną, sprzężoną z pozostałymi przy pomocy homeostatu, który z głównymi modułami każdej z trzech linii – korelatorem, akumulatorem i kreatorem – jest połączony pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego. Cybernetyczna struktura uogólnionego w powyższy sposób systemu Mazura, nazwijmy go systemem kreatywnym, jest przedstawiona na Rys. 1. Strzałka oznaczona jako samopowielanie symbolizuje procesy zapewniające rozmnażanie i jest połączeniem ze środowiskiem. Jeśli system nie jest wyposażony w funkcjonalność samopowielania, ale poza tym odpowiada przedstawionemu schematowi, będziemy go nazywać systemem samoorganizującym.

Teoria metabolizmu informacyjnego jest drugą teorią, na której jest oparta propozycja uzupełnienia podejścia Korzeniewskiego. Zasadniczą jej tezą jest stwierdzenie, że w ukła-

dach żywych przetwarzanie informacji jest istotną częścią dynamiki systemu i nie da się go oddzielić od przemian biochemicznych. Rola przetwarzania informacji jest tym większa i ważniejsza, im bardziej złożony jest organizm. Wychodząc od tej koncepcji postawiono tezę, że nieredukowalne, informacyjno-energetyczno-strukturalne przetwarzanie informacji, energii i materii jest kluczowym zjawiskiem w układach żywych. Powyższa nieredukowalność polega na tym, że w układach żywych przetworzenie jednego z powyższych trzech składników implikuje automatycznie przetworzenie dwóch pozostałych – Rys. 2. Jest to istotna różnica w porównaniu np. z komputerami, gdzie zapis informacji na dysku wiąże się jedynie z namagnesowaniem jego części, a więc ze zmianą stanu energetycznego tej części bez zmiany jej struktury. W układach biologicznych natomiast, informacja jest kodowana przy pomocy zmiany struktury, która ją koduje. Przetwarzanie informacji związane jest zatem z dynamiką struktury kodującej, łącznie z oddziaływaniem z innymi strukturami i przestrukturalizowaniem całych grup struktur. Problem ten został szczegółowo przedyskutowany, wraz z podaniem przykładów (Bielecki, 2015, sekc. 5.1).



Rys. 2. Trójczłonowy nieredukowalny metabolizm.

W celu opracowania formalnych podstaw zaproponowanej koncepcji, należy zdefiniować w sposób formalny i przeanalizować użyte pojęcia. Pojęcie energii jest dobrze opracowane na gruncie fizyki. Jeśli chodzi o pojęcie informacji, to już z początkiem lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku wskazano, że istniejące teorie informacji nie nadają się do zastosowania w biologii (Lem, 1972, Aneks 1). Przykładowo, najbardziej znana teoria informacji Shanona (1949), dobrze opisuje przesyłanie sygnałów w kanałach telekomunikacyjnych, jest jednak bezużyteczna w biologii. Nadmienić ponadto należy, że najbardziej rozpowszechnione koncepcje wiążące informację z entropią odnoszą się raczej do sposobu mierzenia ilości informacji, a nie do analizy informacji jako takiej, która to analiza w biologii jest niezbędna. Podobne wnioski sformułowano w pracy (Bielecki, 2015), w której jednak zarysowany został plan opracowania takiej teorii i zaprezentowano jej podstawowe idee

(por. Bielecki, 2015, sekc. 5.3). Podstawą koncepcji jest idea, iż informacja w aspekcie wyłącznie teoretycznym, czy też matematycznym (w tej publikacji określana terminem *disembodied information*) jest określona na zbiorze skończonym i wiąże się z rozróżnialnością jego elementów. W szczególności, informację do zbioru wprowadza relacja na nim określona. Specyfika informacji w aspekcie fizycznym i, co za tym idzie, biologicznym (w publikacji określana terminem *embodied information*) polega na tym, że wprowadzona relacja konstytuująca informację ma istotny aspekt energetyczny. Zbiór obiektów fizycznych wraz z wprowadzoną do niego informacją fizyczną tworzy strukturę materialną. W przypadku, gdy relacje są zmienne w czasie, jest to struktura dynamiczna. Systemy cybernetyczne są specyficznymi typami struktur dynamicznych.

Układ żywy – *aliwon* – zdefiniowany jest na bazie wprowadzonych pojęć (por. Bielecki, 2015, sekc. 5.4):

*Aliwon* jest systemem samoorganizującym, w którym przetwarzanie informacji, energii i materii odbywa się w formie nieredukowalnego, informacyjno-energetyczno-strukturalnego przetwarzania informacji, energii i materii. Homeostat utrzymuje równowagę dynamiczną systemu za pomocą trzech pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, które łączą go z akumulatorem, korelatorem i kreatorem – głównymi modułami linii energetycznej, informacyjnej i kreatywnej.

Skomentujmy wprowadzoną definicję.

1. Wprowadzona definicja zawiera dwa istotne punkty: *aliwon* jest nie tylko systemem cybernetycznym posiadającym konkretną strukturę, ale przetwarzanie informacji, energii i materii odbywa się w nim w określony sposób – nieredukowalne trójczłonowe przetwarzanie.
2. Nieredukowalność trójczłonowego przetwarzania oznacza, że wewnętrzny stan układu kodujący informację nie jest jedynie stanem energetycznym ustalonej struktury, jak namagnesowanie dysku w komputerze, ale jest dynamicznym procesem przetwarzającym materialną strukturę. Informację koduje specyfika tego procesu.
3. Stabilność dynamiczna oznacza utrzymywanie równowagi przy pomocy procesów generowanych przez aktywne struktury. Stąd w *aliwonie* kluczowe jest występowanie struktur aktywnych, czyli dynamicznych. Dlatego, na przykład, rozrastająca się struktura krystaliczna nie jest *aliwonem*, gdyż posiada statyczną strukturę.

Odnosząc powyższą definicję do podejścia Korzeniewskiego należy podkreślić następujące aspekty.

1. Kreatywny *aliwon* jest uściśleniem jednostki żywej zdefiniowanej przez Korzeniewskiego. Pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego między homeostatem a akumulatorem, korelatorem i kreatorem odpowiadają układowi ujemnych sprzężeń zwrotnych w definicji Korzeniewskiego. Cały



kreacyjny *aliwon* jest, za pośrednictwem kanału kreacyjnego, połączony ze środowiskiem pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego, odpowiadającą nadrzędnej pętli sprzężenia zwrotnego w definicji Korzeniewskiego.

2. Hipotetyczny techno-industrialny system analizowany przez Korzeniewskiego w (Korzeniewski, 2011) jest systemem samoorganizującym. Jest znacznie bardziej podobny do układów żywych niż istniejące obecnie roboty autonomiczne – na przykład posiadałby zdolności samonaprawcze. Jednak zachodzące w nim przetwarzanie informacji, energii i struktury nie jest trójczłonowym nieredukowalnym przetwarzaniem. System ten więc, chociaż posiada pewne funkcjonalności układu żywego, może być przy pomocy teorii przedstawionej w niniejszej publikacji i w pracy (Bielecki, 2015) łatwo zidentyfikowany jako układ nieożywiony. Jest on w podobnej relacji do układów żywych, jak współczesne sztuczne sieci neuronowe do biologicznych układów nerwowych.

Odnosząc powyższą definicję do znanego życia ziemskiego należy podkreślić następujące aspekty.

1. Każdy żyjący system, łącznie z minimalnym (w takim sensie, jak rozpatrywał Gánti, por. Gánti, 1975) musi być *aliwonem*. Minimalnym znanym *aliwonem* jest komórka prokariotyczna.

2. Wirusy i wiroidy nie są *aliwonami*. Wirusy nie są systemami autonomicznymi, ponieważ nie posiadają akumulatora. Jednakże przetwarzanie przez nich energii, materii i informacji jest nieredukowalnym przetwarzaniem trójczłonowym, mimo że nie zachodzi w nich metabolizm w znaczeniu biologicznym. Przetwarzają jednak informację poprzez zmianę struktury materialnej. W efekcie wirusy działają jak Demon Maxwella (Rohwer i Barott, 2013). W ten sposób wytwarzana jest fizyczna informacja, która może być zamieniona na pracę (Toyabe i in., 2010). Wiroidy natomiast nie są systemami cybernetycznymi, tylko strukturami, gdyż nie posiadają wejść ani wyjść.
3. Definicja *aliwonu* koresponduje z koncepcją, że organizmy żywe w pewnym sensie „rozwiązują zadania stawiane przez środowisko” (por. Popper, 1972, rozdz. 3.8). Rozwiązania mogą być generowane jako zachowania systemu – strategie behawioralne, albo jako reakcje fizjologiczne, będące mechanizmami homeostatycznymi kompensującymi szkodliwy wpływ środowiska.
4. Techniczne systemy autonomiczne, takie jak autonomiczne roboty, są systemami autonomicznymi Mazura – Rys. 1 bez linii kreacyjnej. W przypadku technicznych systemów autonomicznych ich struktura fizyczna jest zgodna ze strukturą cybernetyczną. Oznacza to, że strukturalne jednostki systemu odpowiadają ich cybernetycznym modułom. W przypadku konstruowanych obecnie

autonomicznych bezzałogowych pojazdów (Bielecki, Buratowski i Śmigielski, 2013; Gibbs, 2006) akumulator elektryczny i zbiornik paliwa konstytuują cybernetyczny akumulator. W *aliwonie* natomiast, zgodnie z zaprezentowaną teorią, każda jednostka strukturalna przetwarza informację, energię i materię w sposób nieredukowalny (Dunker i Richard w: Kriwacki, 2011; Khakh i Burnstock, 2010).

5. Ewolucja biologiczna, będąca mechanizmem adaptacyjnym, z punktu widzenia zaprezentowanej teorii, dysponuje następującymi mechanizmami (por. Bielecki, 2015, sekc. 5.5):
- a. organizm może znaleźć przyjazne środowisko;
  - b. organizm może przekształcić sąsiadujące z nim środowisko na bardziej przyjazne;
  - c. organizm może wypracować zachowania pozwalające mu skuteczniej funkcjonować w środowisku, w szczególności takie zachowania, które kompensują negatywny wpływ środowiska na organizm – jest to modyfikacja zawartości korelatora;
  - d. organizm może udoskonalać poszczególne moduły;
  - e. organizm może optymalizować działanie poszczególnych linii.

## 6. Podsumowanie

W niniejszej pracy zaprezentowano podejście, według którego nieredukowalne trójczłonowe przetwarzanie informacyjno-energetyczno-strukturalne odbywające się w pewnego typu systemie cybernetycznym jest kluczowe dla zjawiska życia. Oznacza to, między innymi, że analizując zjawisko życia trzeba rozpatrywać nie tylko specyfikę pewnych procesów dynamicznych, jak jest w podejściu Korzeniewskiego, ale też cybernetyczną strukturę systemu, w którym te procesy się rozgrywają. Zaprezentowane podejście, będące uzupełnieniem podejścia Korzeniewskiego, dostarcza dobrych ram do rozpatrywania zjawiska życia z ogólnego punktu widzenia, tzn. niekoniecznie ograniczając się w analizach jedynie do znanego życia ziemskiego. W szczególności zaprezentowane podejście jest dobrą bazą do analizy problemów postawionych przez Bedau (zob. Bedau, 1998 oraz rozdział 4 niniejszej publikacji). Ponadto spełnia ono zmodyfikowaną (w stosunku do propozycji Korzeniewskiego) wersję metodologicznych postulatów badań nad życiem – zob. rozdział 4 niniejszej publikacji. Wydaje się być również dobrym punktem wyjścia do badań nad mechanizmami ewolucji nie tylko w kontekście biologicznym – już Darwin zwrócił uwagę na analogie między rozwojem języków naturalnych a ewolucją biologiczną (zob. Darwin, 1871b, rozdz. 2). Lem z kolei rozważał analogie między ewolucją biologiczną z rozwojem urządzeń technicznych (Lem, 1964, rozdz. 1, 8). Badanie tego typu ogólnych prawidłowości procesów ewolucyjnych możliwe jest wyłącznie na gruncie cybernetyki.

## Bibliografia

- Ashby, W.R., 1948. Design for a brain. *Electronic Engineering*, 20, ss. 379–383.
- Ashby, W.R., 1962. Principles of self-organizing system. W: G.W. Zopf, H. Von Foerster, (red.), *Principles of self-organization: Transactions of the University of Illinois Symposium*. London: Pergamon Press, ss. 255–278.
- Ashby, W.R., 1963. *Wstęp do cybernetyki*. Wyd. 2. Tłum. B. Osuchowska, A. Gosiewski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Bedau, M.A., 1998. Four puzzles about life. *Artificial Life*, 4(2), ss. 125–140.
- Bedau, M.A., 2011. A functional account of degrees of minimal chemical life. *Synthese*, 185(1), ss. 73–88.
- Bertalanffy, L. von, 1984. *Ogólna teoria systemów: Podstawy, rozwój, zastosowania*. Tłum. E. Wołydyło. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Bielecki, A., 2007. Information metabolism in the framework of exact sciences. W: *States of consciousness, emotions, personality, and psychotherapy*. [online] New York: Springer, ss. 170–215. Dostępne na: <[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-32758-7\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-32758-7_7)> [Ostatni dostęp 3.05.2016].
- Bielecki, A., 2015. The general entity of life: A cybernetic approach. *Biological Cybernetics*, 109(3), ss. 401–419.
- Bielecki, A., Buratowski, T., Śmigielski, P., 2013. Recognition of two-dimensional representation of urban environment for autonomous flying agents. *Expert Systems with Applications*, 40(9), ss. 3623–3633.
- Clancy, P., Brack, A., Horneck, G., 2005. *Looking for life, searching the solar system*. Cambridge – New York: Cambridge University Press.
- Cleland, C.E., 2011. Life without definitions. *Synthese*, 185(1), ss. 125–144.
- Darwin, C., 1871a. *Letter to Hocker*. [letter number 7471 in Darwin Correspondence Project database].
- Darwin, C., 1871b. *The descent of man and, selection in relation to sex*. Vol. 1. [online] London: J. Murray.

- Davies, P., 2009. The quantum life. *Physics World*, 22(7), s. 24.
- Davies, P.C.W., 2004. Does quantum mechanics play a non-trivial role in life? *Biosystems*, 78(1–3), ss. 69–79.
- Dose, K., 1988. The origin of life: More questions than answers. *Interdisciplinary Science Reviews*, 13(4), ss. 348–356.
- Dunker, A.K., Kriwacki, R.W., 2011. Dobrze funkcjonujący bałagan. *Scientific American*, 5(237), ss. 58–63.
- Ereshfsky, M., Pedroso, M., 2012. Biological individuality: The case of biofilms. *Biology & Philosophy*, 28(2), ss. 331–349.
- Gánti, T., 1975. Organization of chemical reactions into dividing and metabolizing units: The chemotons. *BioSystems*, 7(1), ss. 15–21.
- Gibbs, W.W., 2006. Rajd bez rajdowców. *Świat Nauki*, 2(175), ss. 72–79.
- Haldane, J.B.S., 1928. The origin of life. *Rationalist Annual*, 148, ss. 3–10.
- Hellerman, L., 2006. Representation of living forms. *Biology and Philosophy*, 21(4), ss. 537–552.
- Kauffman, S.A., 1995. *At home in the universe: The search for laws of self-organization and complexity*. New York: Oxford University Press.
- Kępiński, A., 1970. O biologiczny model w myśleniu psychiatrycznym. *Psychiatria Polska*, 1(4), ss. 373–378.
- Kępiński, A., 1972. *Schizofrenia*. Warszawa: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich.
- Kępiński, A., 1974. *Melancholia*. Warszawa: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich.
- Kępiński, A., 1977. *Lęk*. Warszawa: Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich.
- Khakh, B.S., Burnstock, G., 2010. Podwójne życie ATP. *Świat Nauki*, 1(221), ss. 38–45.
- Korzeniewski, B., 2001. Cybernetic formulation of the definition of life. *Journal of Theoretical Biology*, 209(3), ss. 275–286.
- Korzeniewski, B., 2005. Confrontation of the cybernetic definition of a living individual with the real world. *Acta Biotheoretica*, 53(1), ss. 1–28.
- Korzeniewski, B., 2011. Artificial cybernetic living individuals based on supramolecular-level organization as dispersed individuals. *Artificial Life*, 17(1), ss. 51–67.

- Kuhn, T.S., 1962. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T.S., 1968. *Struktura rewolucji naukowych*. Tłum. H. Ostromecka. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Lane, N., 2009. *Life ascending: The ten great inventions of evolution*. New York – London: W.W. Norton and Company.
- Lem, S., 1964. *Summa technologiae*. Kraków: Wydawnictwo Literackie.
- Lem, S., 1972. *Dialogi*. 2. wyd. Kraków: Wydawnictwo Literackie.
- Lovelock, J.E., 1979. *Gaia: A new look at life on earth*. Oxford: Oxford University Press.
- Luisi, P.L., 1998. About various definitions of life. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 28(4–6), ss. 613–622.
- Margulis, L., 1970. *Origin of eukaryotic cells: Evidence and research implications for a theory of the origin and evolution of microbial, plant, and animal cells on the Precambrian earth*. New Haven: Yale University Press.
- Mazur, M., 1966. *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Mazur, M., 1976. *Cybernetyka i charakter*. Biblioteka Myśli Współczesnej. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Miller, S.L., 1953. A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science*, 117(3046), ss. 528–529.
- Muller, H.J., 1955. Life. *Science*, 121(3132), ss. 1–9.
- Muller, H.J., 1966. The gene material as the initiator and the organizing basis of life. *The American Naturalist*, 100(915), ss. 493–517.
- Nurse, P., 2008. Life, logic and information. *Nature*, 454(7203), ss. 424–426.
- Oliver, J.D., Perry, R.S., 2006. Definitely life but not definitively. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 36(5–6), ss. 515–521.
- Oparin, A.I., 1953. *The origin of life*. New York: Dover Phoenix Editions.
- Oró, J., 1961. Mechanism of synthesis of adenine from hydrogen cyanide under possible primitive earth conditions. *Nature*, 191, ss. 1193–1194.
- Опарин, А.И., 1924. *Происхождение жизни*. Москва: Московский рабочий.

- Parke, E.C., 2012. What could arsenic bacteria teach us about life? *Biology & Philosophy*, 28(2), ss. 205–218.
- Perez Velazquez, J.L., 2009. Finding simplicity in complexity: General principles of biological and nonbiological organization. *Journal of Biological Physics*, 35(3), ss. 209–221.
- Popper, K.R., 1972. *Objective knowledge: An evolutionary approach*. Oxford: Clarendon Press.
- Prigogine, I., 1980. *From being to becoming: Time and complexity in the physical sciences*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Prigogine, I. i Stengers, I., 1984. *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. London: Heinemann.
- Rohwer, F. i Barott, K., 2013. Viral information. *Biology & Philosophy*, 28(2), ss. 283–297.
- Rosen, R., 1966. A note on replication in (M,R)-systems. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 28(2), ss. 149–151.
- Rosen, R., 1967. Further comments on replication in (M,R)-systems. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 29(1), ss. 91–94.
- Rosslenbroich, B., 2009. The theory of increasing autonomy in evolution: A proposal for understanding macroevolutionary innovations. *Biology & Philosophy*, 24(5), ss. 623–644.
- Sedlak, W., 1988. *Wprowadzenie w bioelektronikę*. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo.
- Shannon, C.E., 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.
- Shapiro, R., 1986. *Origins: A Skeptic's guide to the origin of life on earth*. New York: Summit Books.
- Shields, C., 2011. The dialectic of life. *Synthese*, 185(1), ss. 103–124.
- Toyabe, S., Sagawa, T., Ueda, M., Muneyuki, E., Sano, M., 2010. Experimental demonstration of information-to-energy conversion and validation of the generalized Jarzynski equality. *Nature Physics*, 6(12), ss. 988–992.
- Wächtershäuser, G., 2006. From volcanic origins of chemoautotrophic life to bacteria, archaea and eukarya. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1474), ss. 1787–1808.