

KRZYSZTOF CHODASEWICZ

*Zespół Filozofii Przyrody
Instytut Filozofii i Socjologii PAN
Nowy Świat 72, 00-330 Warszawa
E-mail: kchodasewicz@o2.pl*

DEFINIOWAĆ CZY NIE? WSPÓŁCZESNE KONTROWERSJE NA TEMAT POTRZEBY I SPOSOBU DEFINIOWANIA ŻYCIA

WSTĘP

Zagadnienie definiowania życia było w ostatnich latach żywo dyskutowane. Prestiżowe czasopisma, np. „Origins of Life and Evolution of Biospheres”, „Astrobiology” czy „Synthese”, poświęciły temu zagadnieniu całe numery¹. Na pierwszy rzut oka, życie wymyka się ścisłym definicjom, co widać przy analizowaniu którejkolwiek z nich. Na przykład, znana ze szkoły definicja fizjologiczna głosi, że mianem życia określa się system, który „odżywia się, metabolizuje, oddycha, porusza się, rośnie, reprodukuje się i jest wrażliwy na zewnętrzne bodźce” (SAGAN 1984). Od razu widać, że definicja ta posiada szereg wad. Pierwszym problemem są kontrprzykłady – rośliny i wiele innych organizmów nie porusza się. Organizmy w stanie anabiozy nie wykazują przejawów metabolizmu (JEUKEN 1975). Wszystkie organizmy reagują na zewnętrzne bodźce, ale nie wszystkie w takim samym sensie (co innego kryje się pod tym pojęciem, gdy mówimy o organizmach wyposażonych w złożony aparat kognytywny, a co innego w przypadku bakterii czy archeonów). Bezpłodne hybrydy w rodzaju mułów nie są zdolne do reprodukcji. Nawet kwestia wzrostu jest problematyczna. Tibor Gánti przekonuje, że wzrost nierozdzielnie związany jest z reprodukcją (GÁNTI 1986, 2003).

Drugi problem związany jest z konstrukcją analizowanej definicji. Widać, że jest ona redundantna, tzn. pojawiają się w niej cechy, które nie wnoszą nic nowego. Odżywianie się, oddychanie, wydalanie, to składniki metabolizmu wzmiankowanego już w definicji. Jeśli zaś metabolizm ujmemy jako szereg procesów mających na celu samopodtrzymanie istnienia organizmu, to także zawiera wzrost i wrażliwość na bodźce.

Inna grupa problemów wiąże się z tzw. przypadkami granicznymi: wirusami, wiroidami, transpozonami, prionami, plazmidami i innymi podobnymi tworam. Definicja wyklucza większość z nich z grona żywych ze względu na brak metabolizmu. Czy jest to jednak posunięcie zasadne? Twory te łączy tak wiele z „normalnymi” organizmami, choćby zdolność do reprodukcji czy ta sama budowa biochemiczna. Prowadzi to do pytania, czy definicja ta nie jest zbyt arbitralna i po prostu nie pomija części tworów, które powinniśmy jednak zaliczyć do żywych? Widać, że definicja fizjologiczna nie broni się przed tym zarzutem, gdyż nie dysponuje żadną teoretyczną obudową, która tłumaczyłaby dobór wyszczególnionych w niej cech oraz określałaby wzajemny związek między wskazanymi w niej własnościami kryterialnymi. Innymi słowy: definicja fizjologiczna nie jest tzw. definicją teoretyczną, czyli definicją zbudowaną w świetle określonej teorii/koncepcji, która pokazywałaby, jakie racje przemawiają za taką jej konstrukcją (EL-HANI 2008).

¹Chodzi o vol. 40, nr 2 czasopisma „Origin of Life and Evolution of Biospheres” z 2010 r. zawierający artykuły bazujące na wystąpieniach konferencyjnych wygłoszonych na konferencji Defining Life (4-5 lutego 2008r., Paryż), vol. 10, nr 10 czasopisma „Astrobiology” z 2010 r., a także vol. 185, z. 1 czasopisma „Synthese” z 2012 r.

Można wreszcie zapytać, czy definicja ta nie pomija czegoś istotnego? Tym, co rzuca się szczególnie w oczy, jest brak odwołań do ewolucji drogą doboru naturalnego. Brak odwołania do teorii ewolucji, podstawowej, integrującej teorii biologicznej, jest co najmniej zastanawiający. Definicja fizjologiczna nie może się jednak z niego wytłumaczyć, ze względów analogicznych do wymienionych powyżej. Co więcej, brak teoretycznej obudowy sprawia, że występujące w niej terminy mogą być rozmaicie rozumiane przez różnych naukowców, co musi prowadzić do nieporozumień.

Jako ciekawostkę można podać fakt, że definiowanie życia przez proste wyliczenie cech stanowi dominującą tendencję u wszystkich „adeptów biologii” na wszystkich poziomach edukacji, od poziomu szkolnego do uniwersyteckiego. Jest to zarazem jeden z powodów, dla których problem definiowania życia jest relatywnie rzadko podejmowany. Uczniowie, studenci i naukowcy wierzą bowiem, że definicję mogą uzyskać *ad hoc* wymieniając najbardziej rzucające się w oczy cechy organizmów żywych (EL-HANI 2008).

Czy jest to istotny problem? Po co komplikować sobie życie niepotrzebnym problemem teoretycznym, skoro w codziennej pracy badawczej nie jest to do niczego potrzebne? Takie podejście do definiowania życia jest po części słuszne. Istotnie, zoolog, ekolog, botanik, a nawet mikrobiolog czy wirusolog nie musi stawiać sobie tego typu pytań, aby jego praca była owocna (EMMECHE 1992). Istnieje jednak kilka dyscyplin, w których postawienie tego pytania wydaje się niezwykle ważne. Są to: protobiologia, astrobiologia, biologia syntetyczna i sztuczne życie (ang. artificial life, ALife). Wagę definicji życia dla tych dziedzin najbardziej obrazowo przedstawił Addy Pross. Według niego trzy istotne pytania: „czym jest życie?”, „jak powstało?” i „jak wygenerować prosty żywy system?” pozostają w nierozdzielalnym związku. Każde z nich tworzy wierzchołek trójkąta relacji i odpowiedź na jedno z nich wpływa na odpowiedź na pozostałe (PROSS 2011). Można zobrazować to prostym przykładem. Załóżmy, że pracujemy nad syntezą organizmu żywego *de novo*. W pewnym momencie musimy ocenić, czy nasze wysiłki się powiodły; do tego potrzebna nam jest definicja życia, a więc wcześniej musimy odpowiedzieć sobie na pytanie: what is life?

Podobnie rzecz się ma w astrobiologii. Gdy chcemy sprawdzić, czy życie istnieje, dajmy na to, na Marsie, to musimy wiedzieć czego szukamy².

Kogo nie przekonują takie proste, wyimaginowane przykłady może przyjrzeć się nieco historii. Warto choćby wspomnieć, do jakich problemów doprowadził brak koherentnej koncepcji życia w czasie marsjańskiej misji Viking. (Przypomnę, że pakiet biologiczny misji zakładał detekcję hipotetycznego marsjańskiego życia w oparciu o wykrycie jego metabolizmu; choć część eksperymentów dała wówczas niejasne wyniki, za dowód na brak życia na Marsie uznano wynik analiz chemicznych, które wykazały brak związków organicznych na powierzchni planety (CLELAND i CHYBA 2002))³. Podobnie rzecz się miała, ze słynnym marsjańskim meteoritem ALH 84001. Część badaczy twierdziła, że zaobserwowane w nim struktury, przypominające komórki, nie mogą być pozostałościami organizmów, bo są zbyt małe, aby zawierać rybosomy (BENNER 2010). Abstrahując od obecnego stanu dyskusji na ten temat, można zadać fundamentalne pytanie: dlaczego mamy uznać posiadanie rybosomów za kryterialną cechę życia? Trzeci przykład z zupełnie innej beczki. Amerykański biolog Christopher Langton pod koniec lat 80. ogłosił, że życie może zostać wygenerowane w tworzywie innym niż związki organiczne. Dał tym samym początek całej nowej dziedzinie: wspomnianemu już artificial life (EMMECHE 1992). Czy obiekty tworzone w ramach ALife są autentycznie żywe? Zapewne większość biologów odpowiedziałaby na to pytanie negatywnie. Odpowiedź wcale nie jest jednak taka oczywista, jeśli nie posiadamy definicji życia. Warto dodać – definicji uniwersalnej i powszechnie akceptowanej, bo oczywiście nie wystarczy taka, którą Langton lub inni zwolennicy mocnego sztucznego życia przyjęliby na swój użytek. Tak mogliby przekonać tylko już przekonanych.

Z lektury powyższych analiz można odnieść wrażenie, że pytanie o naturę życia jest uprzywilejowane względem pozostałych dwóch pytań postawionych przez Pross

²Wielu znanych biologów konstruowało mniej lub bardziej rozbudowane eksperymenty myślowe pokazujące jak trudnym zadaniem jest detekcja życia. Przykładem mogą być rozbudowane analizy MONODA (1972) czy MAYNARDA SMITHA i SZATMÁRY'EGO (2000).

³Przykład ten ma dziś oczywiście jedynie historyczne znaczenie.

sa. Nie koniecznie jest to prawda. Nasze odkrycia i modele teoretyczne w ramach astrobiologii, protobiologii i sztucznego życia oddziałują zwrotnie na kreowane przez nas definicje. Należy się więc spodziewać, że jeśli konsensus dotyczący definicji życia będzie miał miejsce, to będzie to definicja „tymczasowo uniwersalna”, zmieniająca się wraz z rozwojem naszej wiedzy (nie tylko wymienionych dyscyplin, ale całej biologii, a zwłaszcza jej działu integrującego, biolo-

gii ewolucyjnej). Choć definicje są (a przynajmniej bywają) w nauce niezbędne, to proces ich kształtowania i wypełniania empiryczną treścią bywa stopniowy (KÜPPERS 1991). Uwaga ta jest wbrew pozorom bardzo ważna, bo pozwala usunąć część zarzutów sceptyków sądzących, że definiowanie życia jest zajęciem zbędnym lub przedwczesnym. Do analizy wspomnianych argumentów jeszcze powrócę w dalszej części artykułu.

FUNKCJE I WŁASNOŚCI DEFINICJI ŻYCIA

Pora na krótkie podsumowanie. Definicja życia powinna pełnić w biologii, a szczególnie w obrębie wymienionych czterech subdyscyplin, następujące funkcje:

- ewaluacyjną – dzięki niej wiemy, czy wyniki naszych prac są pozytywne (czy udało nam się np. wygenerować życie sztuczne lub odkryć jego pozaziemską formę);
- systematyczną – pozwala zaliczyć obiekt do grona ożywionych lub nie (ten aspekt użytkowania definicji jest ważny też dla „standardowej” biologii, o ile pragnie ona usystematyzować kwestię wspomnianych przypadków granicznych⁴);
- heurystyczną – powinna pomóc w odpowiedzi na postawione powyżej pytania o genezę i syntezę życia. Jest to kwestia niezwykle ważna, gdyż czyni definiowanie życia czymś więcej niż jedynie semantyczną łamigłówką, scenariusze powstania życia mogą być bowiem testowane w laboratorium, co nadaje definicji empiryczny sens.

Przedstawione powyżej funkcje definicji życia były dyskutowane (w całości lub tylko niektórych aspektach) przez wielu autorów (LUISI 1998; CLELAND i CHYBA 2002; KORZENIEWSKI 2001, 2005; POPA 2004; RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004). Oprócz wymienionych już funkcji niektórzy uczeni wskazują jeszcze na wyjaśniającą rolę definicji życia (RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004, KORZENIEWSKI 2005). Funkcja ta wiąże się z nakładanym na nią wymaganiami bycia definicją istotną (patrz niżej), zaś szczególnie wiązana jest ze wskazywaniem przez defini-

cję ściśle określonego scenariusza powstania życia (RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004).

Nietrudno zauważyć, że definicja życia, aby czynić zadość przedstawionemu powyżej zapotrzebowaniu, musi posiadać określone własności formalne. Wnikliwe rozważania nad przewymaganiami dla definicji życia znajdują się m.in. w pracach LUISIEGO (1998), KORZENIEWSKIEGO (2001, 2005), POPY (2004), RUIZA-MIRAZO i współaut. (2004), OLIVER i PERRY'EGO (2006). Naukowcy pracujący nad tym zagadnieniem nie są zupełnie jednomyślni. Porównując poszczególne propozycje można jednak odnaleźć pewien wspólny rys w ich poglądach.

Chyba najczęściej postulowanym wymaganiami jest uniwersalność definicji życia. Powinna się ona stosować bowiem do każdego życia: ziemskiego i pozaziemskiego, sztucznego i naturalnego, istniejącego w chwili obecnej oraz takiego, jakie było w chwili powstania (POPA 2004). Warto w tym miejscu dodać, że na określenie tych różnych form życia ukuto nawet pewnego rodzaju etykiety, które łatwo pozwalają wskazać, co mamy na myśli. Życie, jakie znane jest współczesnej biologii, określane jest często mianem *life-as-we-know-it* (życia-jakim-je-znamy). Wszelkie formy alternatywne: zarówno sztuczne, jak i pozaziemskie, a także takie, które tworzą hipotetyczną ziemską biosferę cieni (ang. *shadow Terran biosphere*)⁵, zaliczane są do *life-*

⁴Oczywiście pośród przypadków granicznych są wymieniane również różne obiekty niestanowiące obiektu badań biologii; jednym z nich są rosnące kryształy (KÜPPERS 1991).

⁵Ziemiska biosfera cieni jest to termin ukuty przez filozof Carol E. Cleland i biolog Shelley D. Copley (CLELAND, COPLEY 2005). Mianem tym określa się różne alternatywne formy życia, które potencjalnie mogłyby występować na Ziemi, m.in. organizmy wyposażone w alternatywny kod genetyczny, istoty zbudowane z cząsteczek aminokwasów i kwasów nukleinowych o odmiennej chiralności oraz organizmy wykorzystujące odmienny zestaw aminokwasów i/lub par zasad w DNA.

as-it-could-be (życia-jakie-mogłoby-być). Terminy te zostały ukute przez twórcę sztucznego życia Christophera Langtona (EMMECHE 1992). Pier Luisi Luigi uzupełnił je o określenie life-as-initially-was (życie-jakie-było-na-początku) na określenie pierwszych form życia, które mogły się pod pewnymi względami (np. nośnika informacji dziedzicznej etc.) znacząco różnić od form współczesnych (LUISI 1998).

Definicja uniwersalna miałyby stosować się więc do wszystkich wymienionych rodzajów życia. Nie trudno zauważyć, że jest to postulat, którego spełnienie nigdy nie może zostać zupełnie zagwarantowane. Odkrycie nowych form życia może bowiem, przynajmniej teoretycznie, zmienić nasze wyobrażenia na temat życia. W kontekście przedstawionych rozważań o współzależności między definiowaniem a tworzeniem scenariuszy powstania życia i próbami jego laboratoryjnej syntezy, należałoby raczej powiedzieć, że uniwersalność oznacza dążenie do tworzenia definicji możliwie maksymalnie szerokich, a zarazem odwołujących się wyłącznie do istotnych cech życia.

Drugi warunek dotyczy tego, aby definicja zawierała tylko i wyłącznie wspomniane, istotne cechy. Intuicja jest jasna: definicja powinna nie tylko pozwalać nam jednoznacznie odróżnić obiekty ożywione od nieożywionych (co jest niejako oczywiste), ale także charakteryzować je przez podanie cech naprawdę kluczowych. Chodzi o taką definicję, która pozwoliłaby nam mieć poczucie, że wiemy, czym jest życie. Kiedy myśli się o takich „esencjalistycznych” definicjach, przypomina się dawna metafizyka, z jej tendencją do odkrycia prawdziwej i niezmiennej natury rzeczy. Dziś wiemy, że poznawanie przyrody jest procesem historycznym i nasza wiedza (w tym nasze definicje) zmienia się w czasie. Dlatego też o „istotności” definicji życia trudno myśleć w ten sposób. Chodzi raczej o to, aby z definicji obiektu w koniunkcji z innymi zdaniami opisującymi rzeczywistość przyrodniczą móc wywieść inne, ważne jego własności (AJDUKIEWICZ 1974). Siłą rzeczy, tak pomyślana definicja będzie zawierała możliwie małą liczbę cech życia, opis samego „rdzenia” tego fenomenu, dlatego też niektórzy autorzy mówią w tym kontekście o definicji minimalnej (KORZENIEWSKI 2005).

Często wymienianą własnością definicji życia jest też tzw. operacyjność. Brak tej własności pojawia się jako zarzut przeciw-

ko różnym definicjom życia, a w szczególności przeciwko tzw. definicji standardowej (patrz niżej). Definicja operacyjna to taka, która wyposaża badacza w metodę pozwalającą na efektywne rozstrzygnięcie, czy obiekt pod definicję podpada czy nie (GROBLER 2006). Chodzi więc nie tylko o to, aby coś było jednoznacznie scharakteryzowane (w teorii), ale także, aby istniał zestaw procedur pomiarowych, które pozwolią daną rzecz rozpoznać. Wbrew pozorom skonstruowanie definicji, nawet dobrej pod innymi względami (np. szerokozakresowej, odpornej na kontrprzykłady), nie powoduje automatycznie, że będzie ona w praktyce nadawać się do celów diagnostycznych. Taka sytuacja może zajść nie tylko w eksperymentach myślowych. Zarzut braku operacyjności był często stawiany różnym definicjom życia, m.in. wpływowej definicji darwinowskiej (patrz niżej).

Trudno jest wyobrazić sobie dobrą definicję będącą zarazem minimalną i operacyjną. Dlatego też powinniśmy postulować, by definicja życia była „operacjonalizowalna”, tzn. taka, na bazie której da się zbudować odpowiednie definicje operacyjne. Jednak instrukcji czy wskazówek takiego postępowania nie będzie (zazwyczaj) zawierać sama definicja. Dlatego też tak ważne jest, aby definicja życia była, jak już wspominałem z innych względów, definicją teoretyczną⁶, definicją niejako obudowaną jakąś szerszą koncepcją lub teorią (EL-HANI 2008). W ramach tej ostatniej mogą być zawarte istotne wskazówki dotyczące operacjonalizacji.

Teoretyczny charakter definicji życia jest ważny także z innego, nie wzmiankowanego do tej pory względu. Pozwala bowiem jasno pokazać w jaki sposób rozumienie terminu „życie” w naszej definicji będzie się różnić od jego rozumienia potocznego oraz doprecyzować odniesienie tego terminu. Uniwersalna definicja życia będzie bowiem najprawdopodobniej, jeśli oczywiście powstanie, definicją regulującą, czyli modyfikującą sposób użycia słowa „życie” w stosunku do języka potocznego.

⁶W literaturze z zakresu filozofii i metodologii nauk istnieje także inny sposób rozumienia wyrażenia „definicja teoretyczna”, a mianowicie taki, w którym tym mianem określa się definicję zbudowaną z tzw. terminów teoretycznych (odnoszących się do własności bezpośrednio nieobserwowalnych) (HEMPEL 2001). Oczywiście nie o taki sposób rozumienia „definicji teoretycznej” tu chodzi.

PRETENDENTKI

Współczesna nauka nie dysponuje jedną, uniwersalną i niekontrowersyjną definicją życia (LUISI 1998, BODEN 2000, POPA 2004, RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004, SCHULZE-MAKUCH i IRWIN 2006, ZHURAVLEV i AVETISOV 2006, LAZCANO 2008, GAYON 2010, CLELAND 2012, MACHERY 2012). Nie oznacza to jednak, że wszystkie próby definiowania uważane są za równie obiecujące. Pośród definicji, z którymi wiąże się największe nadzieje najczęściej wymieniane są dwie: definicja darwinowska⁷, określana także mianem standardowej, oraz definicja autopoietyczna.

Pierwsza z nich została stworzona przez Gerarda F. Joyce'a na wewnętrzny użytek programu egzobiologicznego NASA (stąd używa się również określenia „robocza definicja NASA”). Definicja ta głosi, że „życie jest samopodtrzymującym się systemem chemicznym zdolnym do podlegania darwinowskiej ewolucji” (JOYCE 1994, LUISI 1998, RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004, BRACK i TROUBLÉ 2010). Jak od razu można się domyślić, definicja ta nie tworzy własnej otoczki teoretycznej, gdyż stanowi ją dla niej syntetyczna teoria ewolucji. Posunięcie to wydaje się zasadne, skoro teoria ewolucji jest najważniejszą, integrującą teorią biologiczną. Do warunków niezbędnych dla zachodzenia ewolucji drogą dobru naturalnego należy zaliczyć: 1) istnienie zbioru obiektów, które 2) cechują się rozmnażaniem, zmiennością i dziedzicznością oraz 3) przynajmniej część zmienności wpływa na przetrwanie i reprodukcję wspomnianych tworów (MAYNARD SMITH 1992, ŁOMNICKI 2002)⁸. Definicja Joyce'a zawiera również odwołanie do samopodtrzymywania (metabolizmu), co wskazuje na przyjęcie dwuaspektowej perspektywy definiowania życia (do tego zagadnienia powrócę w dalszej części tekstu).

Wielu uczonych wskazywało, że z powyższej charakterystyki wynika, iż życie musi być ujmowane jako system kolektywny. Stosowanie tej definicji poza kontekstem populacji nie ma sensu (LUISI 1998). To właśnie

⁷Definicja ta nie pochodzi od Karola Darwina, który nie podejmował kwestii definiowania życia. Nazwa wzięła się stąd, że definicja ta nawiązuje do mechanizmu ewolucji, który wskazał Darwin.

⁸Niekiedy dodaje się jeszcze śmiertelność, ale, jak się wydaje, dodawanie tego warunku *explicite* nie jest konieczne, gdyż z praw fizyki (termodynamiki) wynika, że wszystkie złożone obiekty muszą prędzej czy później ulec rozpadowi (KORZENIEWSKI 2005).

populacje podlegają ewolucyjnym zmianom⁹. Tu właśnie upatrywano jednej z głównych słabości tej definicji – definicja darwinowska nie stosuje się do pojedynczego osobnika, a przecież możemy sobie wyobrazić, że np. w trakcie badań astrobiologicznych lub eksperymentów z zakresu biologii syntetycznej zostanie (odpowiednio) odkryty lub wygenerowany pojedynczy osobnik (LUISI 1998).

Inną wadę tej definicji widziano w niemożności jej operacjonalizacji. Wielu filozofów i biologów wskazywało na to, że obserwowanie ewolucji może być trudne. Ile czasu mamy oczekiwać, żeby stwierdzić, czy nieznanne nam wcześniej obiekty ewoluują w sposób darwinowski (LUISI 1998; CLELAND i CHYBA 2002)?

Definicji tej zarzucano również, że dyskryminuje organizmy, które nie są zdolne do rozmnażania, np. bezpłodne hybrydy w rodzaju muła, organizmy zbyt stare, by móc się rozmnożyć itp. (CLELAND i CHYBA 2002).

Z wielu względów powyższe zarzuty można uważać za wyolbrzymione lub nietrafiające w istotę definicji. Przekonanie o możliwości wygenerowania/natrafienia na pojedynczego osobnika jest zaskakujące w obliczu zarówno masowości reakcji chemicznych (gdybyśmy natrafili na życie *in statu nascendi*)¹⁰, jak i zagęszczenia organizmów znanych z Ziemi (nawet w ekstremalnych środowiskach). Jeśli pozaziemskie organizmy mają być efektem trwającej na innych ciałach niebieskich ewolucji, to trudno utrzymywać, że będą występować jedynie endemicznie. Oczywiście możemy sobie wyobrazić gatunki mało liczne (podobnie jak na Ziemi), jednak nawet one muszą egzystować w złożonym środowisku „wypełnionym” przez inne formy życia. Jak piszą ZHURAVLEV i AVETISOV (2006)

⁹W wyniku działania doboru zmienia się frekwencja cech w populacji (ew. można mówić, że zmianom ulega frekwencja alleli w puli genowej).

¹⁰Warto w tym miejscu dodać, że współczesna protobiologia nie zakłada, że życie zostało zapoczątkowane przez przypadkowe powstanie pierwszej protokomórki, lecz, że jest efektem ciągu koniecznych przemian określanych mianem ewolucji chemicznej. W istocie tylko założenie, że życie powstało w jej wyniku, sprawia, iż protobiologia może być traktowana jako nauka (ŁUGOWSKI 1987, 1995, 2008). To ontologiczne założenie wydaje się dobrze korespondować ze współczesnymi przekonaniem na temat natury ostatniego wspólnego przodka (LUCA) znanego nam drzewa życia. Zgodnie z nimi, LUCA miał być raczej populacją protoorganizmów wymieniających się materiałem genetycznym (CLELAND i COPLEY 2005).

pojedynczy organizm nie może długo istnieć poza całą biosferą. Argument ten można podsumować jeszcze inaczej: 1) jeśli mamy na myśli mikroorganizmy, możemy się ich spodziewać w znacznej ilości, 2) jeśli mamy na myśli bardziej złożone formy życia, to muszą one istnieć pośród innych form życia mniej złożonego [m.in. dlatego, że złożoność organizmu odzwierciedla złożoność jego niszy ekologicznej (KORZENIEWSKI 2005)].

Podobnie rzecz się ma z drugim zarzutem. Dziś wiemy, że 1) mechanizm doboru może być obserwowany w warunkach naturalnych, a tym samym, że 2) ewolucja może zachodzić znacznie szybciej niż sądzono w czasach Darwina i wreszcie, że 3) ewolucja może postępować bardzo szybko u organizmów o krótkich cyklach życiowych (KOTEJA 2009; ŁOMNICKI 2002, 2009a). Na to ostatnie spostrzeżenie wpadł już współczesny Darwinowi uczonek W. H. Dallinger, co dało początek pionierskiemu eksperymentowi z zakresu ewolucji eksperymentalnej (KOTEJA 2009). Trudności w obserwowaniu ewolucji mają zatem charakter techniczny, a nie fundamentalny. Jak zresztą zaznaczają niektórzy badacze, wcale nie trzeba prowadzić nie wiadomo jak długich obserwacji ewolucji. Wystarczy wykazać, że analizowane obiekty (w tym przypadku kandydaci na nową formę życia) posiadają niezbędne do ewoluowania własności (rozmnażanie, dziedziczna zmienność). Istotne będą więc przede wszystkim badania ich nośników informacji dziedzicznej (LUISI 1998, BENNER 2010).

O ile jednak powyższe zarzuty mogą być traktowane jako wskazanie ograniczeń, o tyle zarzut z bezpłodności jest zupełnie nietrafiony. Warto zwrócić uwagę przede wszystkim na powyższą uwagę, że definicja darwinowska jest definicją kolektywną. Zgodnie z nią, ewoluują populacje (względnie pule genowe), nie pojedyncze osobniki. Rozmnażanie się osobników jest warunkiem dla ewolucji, ale oczywiście nie jest tak, że wszystkie osobniki w zbiorze muszą się rozmnożyć. Wręcz przeciwnie, z naszej teorii doboru wiemy, że niektóre osobniki nie rozmnożą się w określonych warunkach w ogóle. Muł nie jest bardziej problematycznym przypadkiem niż organizm, który został zjedzony przez drapieżnika zanim zdążył wydać potomstwo. Zarówno jednak muł, jak i zjedzone zwierzę należały do ewoluujących populacji (powstały jako jedne z ich elementów) i na tej podstawie, w świetle powyższej definicji, możemy im przypisać status ożywionych. W przypad-

ku muła może nawet lepiej widać to z perspektywy genów. Geny przodków muła miały „nieszczęście skopiować się” do wehikułu przetrwania, który nie zapewnił ich dalszej replikacji. Jednak same należą do szerszych puli genowych (populacji koni i populacji osłów) i to właśnie te pule nadal mogą ewoluować (frekwencja poszczególnych genów w puli może się zmieniać) (CHODASEWICZ 2014a).

Oddalenie powyższych zarzutów nie oznacza, że z definicją Joyce’a nie wiążą się żadne istotne problemy. Jednym z nich jest brak wskazania istotnego związku między samopodtrzymywaniem się a darwinowską ewolucją. Z samej definicji nie wynika nawet jasno, co tak naprawdę ma się samopodtrzymywać: poszczególne osobniki tworzące ewoluującą populację, czy też raczej populacja jako całość. Analizy Luisiego sugerują, że Joyce, orędownik idei świata RNA, miał na myśli raczej całe systemy replikujących się cząstek (LUISI 1998).

Z wielu względów przedstawione powyżej stanowisko jest trudne do zaakceptowania. Pomija bowiem to, że zdolność do samopodtrzymywania się jest istotna dla poszczególnych żywych osobników. Jak sugeruje Korzeniewski, jest zupełnie niemożliwe, aby skomplikowane formy życia mogły powstać bez tej zdolności. Wspomniany autor zaznacza, że „żaden złożony replikator nie mógłby przeżyć długo w rzeczywistym świecie bez zdolności do kompensowania różnych zakłóceń pochodzących z (zewnętrznego i wewnętrznego) środowiska (tj. bez bycia homeostatem). Innymi słowy: aby być efektywnymi replikatorami pierwsze żywe istoty musiały być homeostatycznymi systemami (homeostatami)” (KORZENIEWSKI 2005)¹¹. Także z punktu widzenia filogenezy i różnorodności biosfery definicja darwinowska pomija esencjalną dla życia własność – trudno oczekiwać wyewoluowania złożonych form obiektów niezdolnych do chociaż częściowego kompensowania wzrostu entropii¹². Co więcej,

¹¹Tłumaczenie własne.

¹²Warto zaznaczyć, że istnieje rozbudowany nurt odwołujący się w definiowaniu życia do terminów termodynamiki układów nierównowagowych. Zwraca się uwagę, że organizmy żywe są tzw. strukturami dysypatywnymi, czyli takimi, których istnienie wymaga stałego przepływu energii, i których funkcjonowanie prowadzi do jej rozpraszania (MAYNARD SMITH 1992). Układy takie zdolne są do obniżania swojej entropii kosztem entropii otoczenia. Ujęcie termodynamiczne, choć użyteczne, nie wydaje się jednak wystarczające do samodzielnego zdefiniowania życia, choćby z tej racji, że organizmy żywe nie są jedynymi przykładami struktur dysypatywnych. Szersze omówienie tej problema-

nacisk na samopodtrzymywanie się populacji może mylnie sugerować, że osobniki muszą podejmować jakiegoś rodzaju działania dla dobra wspólnoty, co przeczyłoby standardowemu rozumieniu ewolucji darwinowskiej. Powyższe problemy wskazują na konieczność doprecyzowania tej definicji.

Dylematów powyższych całkowicie unika definicja stworzona w oparciu o koncepcję *autopoiesis*. Zgodnie z nią istoty żywe są systemami autopoietycznymi¹³. Systemy autopoietyczne stanowią wyróżnioną podklasę dynamicznych systemów mechanicznych (VARELA i współaut. 1974). Ujmując rzecz dokładniej, są to układy, które posiadają „sieć produkcji komponentów, które 1) zwrotnie uczestniczą w tej samej sieci produkcji komponentów, która je wyprodukowała i 2) realizują sieć produkcji jako jednostkę w przestrzeni, w której istnieją” (VARELA i współaut. 1974)¹⁴. Systemy autopoietyczne należy odróżniać od systemów allopoietycznych, które owszem, także są dynamicznymi systemami mechanicznymi, ale nie generują wszystkich elementów niezbędnych do ich regeneracji (VARELA i współaut. 1974). W systemach allopoietycznych produkt ich funkcjonowania jest zasadniczo różny od nich samych (VARELA i współaut. 1974). O ile paradygmatycznym przykładem obiektów pierwszego rodzaju jest komórka (LUISI 2003), o tyle przykładem obiektów drugiego rodzaju może być fabryka. Choć część produktów fabryki (dajmy na to: rur) może być wykorzystana na jej własny użytek, to jednak zasadniczo nie jest ona „samowystarczalna”; warto zaznaczyć, że analogiczny jest status wszelkich biologicznych „fabryk”, np. rybosomów. Choć są subsystemami układu autopoietycznego, to jednak same są układami allopoietycznymi (VARELA i współaut. 1974).

Przez samowystarczalność systemu autopoietycznego nie należy rozumieć tego, że systemy autopoietyczne są systemami zamkniętymi w sensie fizycznym. Chodzi raczej o autonomiczność systemu (jego funkcjonowanie jest konsekwencją jego własnej organizacji) oraz o operacyjną zamkniętość systemu (utrzymywanie w toku pracy systemu jego abstrakcyjnej logiki i nie wykroczenie poza nią) (VARELA i współaut. 1974). Pobieranie z zewnątrz elementarnych

tyki wykracza niestety poza ramy niniejszego tekstu. (Więcej na temat życia w kontekście termodynamiki zob. np. MAINZER 2007).

¹³W polskich tłumaczeniach spotyka się też określenie „systemy autopoetyczne” (zob. np. WOJTASZEK 2006).

¹⁴Tłumaczenie własne.

materialnych składników niezbędnych do realizacji tych zadań jest oczywiście konieczne.

Definicja autopoietyczna, jak i cała koncepcja *autopoiesis* została stworzona przez dwójkę chilijskich biologów, Humberto Maturanę i Fransico Varełę. Należy od razu zaznaczyć, że koncepcja ta jako całość spotkała się z krytyką o wiele większego „kalibru” niż definicja darwinowska. Niektórzy uczeni zarzucali jej nawet pseudonaukowość (ŁUGOWSKI 1987). Istotnie, zarówno charakter całej koncepcji, aspirującej do wyjaśniania nie tylko zjawiska życia, ale szeregu innych fenomenów (m.in. poznanie, procesy społeczne), jak i jej historycznie zmienny i niejednorodny charakter (elementy koncepcji zmieniały się w czasie, szczególnie jej twórcy i kontynuatorzy różnili się znacznie w spojrzeniu na pewne jej aspekty), utrudniają jej rzetelną ocenę (LUISI 2003). Wiele wskazanych powyżej elementów koncepcji sugeruje, że winna być traktowana raczej jako koncepcja filozoficzna, a nie teoria biologiczna *sensu stricto*. Do jej recepcji w środowisku biologów nie przyczynia się ponadto fakt, że twórcy koncepcji postulowali wyrugowanie z biologii pewnych sprawdzonych biologicznych kategorii, np. „informacji” czy „funkcji”, a usiłowali zastąpić je niejasnymi terminami o mocno antropomorficznych konotacjach. Zamierzenie to krytykowali nawet niektórzy zwolennicy autopoietycznego podejścia do definiowania życia (BODEN 2000).

Nie zamierzam polemizować z zaznaczonymi powyżej zarzutami, gdyż z wieloma się zgadzam. Sądzę jednak, że z koncepcji da się wyłowić pewien twardy rdzeń, który odnosi się wyłącznie do problemu definicji życia. Być może to właśnie taka możliwość sprawia, że definicja autopoietyczna jest często komentowana przez naukowców niebędących jej zdeklarowanymi zwolennikami. Jak czytelnik przekona się po dalszej lekturze, taka „oczyszczona” koncepcja *autopoiesis* stanowi niemalże paradygmatyczny przypadek ujęcia przeciwstawnego do definicji darwinowskiej.

Łatwo jest zauważyć, że jest to definicja akcentująca przede wszystkim problematyczną dla jej konkurentki zdolność do samopodtrzymywania się. Istota żywa jest charakteryzowana jako „fabryka” zdolna do regeneracji wszystkich swoich elementów, w tym także elementów odpowiedzialnych za funkcje regeneracyjne. Historycznie wynika to z faktu, że twórcy bazowali przede wszystkim na komórkowej wizji życia (LUISI 2003). Definicja autopoietyczna jest więc, jak już zaznacza-

łem, przede wszystkim definicją żywej komórki. Wiele późniejszych charakterystyk systemu autopoietycznego akcentowało także obecność w nim półprzepuszczalnej granicy (błony), co tym bardziej podkreślało „komórkowy” charakter definicji. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie uznania istnienia systemów autopoietycznych wyższego rzędu, jakimi są organizmy wielokomórkowe. Innymi słowy: są to samopodtrzymujące się obiekty złożone z elementów, które same są systemami autopoietycznymi (LUISI 2003).

Nastawienie na metabolizm sprawia, że, co prawda, definicja dyskryminuje wirusy (a zatem także transpozony, plazmidy itp.) (LUISI 2003), jednak jest wręcz idealna do diagnozowania życia w przypadku pojedynczego osobnika. Varela i Maturana wyposażają nas nawet w odpowiednie algorytm diagnostyczny. W najprostszej wersji brzmi on: 1) sprawdź, czy system ma półprzepuszczalną granicę, która 2) jest wytwarzana w obrębie systemu, i która 3) obejmuje reakcje, które odtwarzają składniki systemu (LUISI 2003). Jeśli odpowiemy po kolei twierdząco na wszystkie pytania, to system jest system autopoietycznym.

Czytelnik zwróci od razu uwagę, że definicja nie zawiera ani odniesień do rozmnażania, ani do ewolucji. Nie jest to przypadek, gdyż własności te zgodnie z tą koncepcją są uważane za wtórne wobec samopodtrzymywania. Nie oznacza to jednak, że nie mogą być z tej definicji wyprowadzone (koncepcja autopoiesis aspiruje do bycia definicją istotną). W modelu tym zakłada się, że ewolucja jest pochodną autopoietycznej organizacji. Jest to z jednej strony (w perspektywie diachronicznej) związane z przyjmowaniem przez jego twórców scenariusza powstania życia, zgodnie z którym kompartmentalizacja i metabolizm wyprzedzały rozmnażanie. Pierwsze podziały miały mieć charakter wymuszony zewnętrznymi czynnikami fizykochemicznymi. Zaś pierwszy prymitywny dobór sprowadzał się do zachowania tych obiektów (pęcherzyków), które, mimo podziałów, były w stanie podtrzymać swą autopoietyczną organizację (BODEN 2000). Innymi słowy: pierwsza selekcja dotyczyła wyłącznie zdolności do przetrwania, zaś rozmnażanie było niejako efektem ubocznym.

Z drugiej strony (w perspektywie synchronicznej), w koncepcji autopoiesis przyjmuje się, że rozmnażanie się jest pochodną samoorganizacji i wzrostu. System autopoietyczny jest, jak już wspomniałem, samoge-

nerującą się „fabryką”. Jeśli tempo tworzenia komponentów jest równe tempu ich niszczenia, wówczas system jest w stanie homeostazy. Jeśli tempo tworzenia jest niższe niż niszczenia, to system autopoietyczny znajduje się na prostej drodze do degeneracji i unicestwienia (śmierci). Jeśli wreszcie tempo produkcji komponentów jest większe niż tempo ich niszczenia, to system powiększa się. Naturalną konsekwencją takiego stanu rzeczy jest rozmnożenie się przez podział, a zatem reprodukcję można traktować jako szczególny przypadek wzrostu (LUISI 2003).

Mimo że koncepcja autopoietyczna jest wolna od wielu zarzutów typowych dla definicji darwinowskiej, nie oznacza to, że nie wiążą się z nią żadne dylematy. W przeciwieństwie jednak do problemów jej konkurentki, dotyczą one raczej kwestii teoretycznych, a nie operacyjno-technicznych. Fundamentalnym problemem jest to, czy rzeczywiście, w świetle analizowanej teorii, definicję systemu autopoietycznego uznać za równoważną z definicją życia. Stanowisko twórców koncepcji nie jest w tej sprawie do końca jasne, choć deklarują oni, że, aby uznać system za żywy, wystarczy, aby jego organizacja była autopoietyczna (VARELA i współaut. 1974, BODEN 2000, LUISI 2003). Z drugiej jednak strony pojawia się następujący problem: jeśli dopuszczamy istnienie systemów autopoietycznych wyższych rzędów, a zrazem nic nie mówimy o substracie takich systemów (na dobrą sprawę definicja autopoietyczna jest czysto funkcjonalna), to czy za systemy autopoietyczne mamy uważać także np. ludzkie społeczeństwa lub społeczności owadów? Oczywiście możemy powiedzieć, że np. „rój pszczoł jest żywy”, ale czy wypowiadając taką frazę mamy zupełnie to samo na myśli, co, gdy orzekamy, że „żywa” jest pojedyncza komórka? Innymi słowy: czy nadorganizmalne byty biologiczne (a także społeczne i kulturowe!) mamy traktować dosłownie jako superorganizmy, o ile spełniają ogólne kryteria systemów autopoietycznych? Na problem ten zwróciła uwagę z całą mocą Gail Fleischaker. Według wspomnianej autorki, twórcy koncepcji *autopoiesis* powinni byli uwzględnić, że system autopoietyczny musi mieć charakter fizyczny, w przeciwnym bowiem wypadku dochodzi do zarysowanych powyżej „paradoksów” (FLEISCHAKER 1988). Oczywiście można powiedzieć, że przecież wspomniany już rój także jest systemem fizycznym. Jest to w pewnym sensie prawda, chodzi jednak o to, że natura interakcji, która sprawia, że rój

może być uważany za system autopoietyczny nie ma charakteru fizycznego, lecz etologiczny. Innymi słowy: to nie bezpośrednie fizyczne oddziaływania czynią z roju system autopoietyczny, ale określone zachowania pszczół (które, co oczywiste muszą mieć fizyczne nośniki).

Jeśli zdecydujemy się na korektę Fleischer unikamy takich problemów, zarazem jednak nie jest jasne, czy taka poprawka jest słuszna, gdyż sami twórcy koncepcji wskazywali na możliwość istnienia autopoietycznych systemów komputerowych (VARELA i współaut. 1974), w których przecież natura interakcji między obiektami ma charakter obliczeniowy!

Innym problemem jest zagadnienie ewolucji. Trudno nie uznać jej za bardzo ważną własność systemów żywych. Tymczasem, nawet jeśli zwolennicy koncepcji *autopoiesis* chcą ją uważać za własność wtórną, to powinni znacznie dokładniej wytłumaczyć jej powiązania z samopodtrzymywaniem się. (Jest to ten sam problem, co w przypadku definicji darwinowskiej, tylko spojrzenie nań jest niejako „odwrócone”). Niektórzy autorzy utrzymują co prawda, że pomiędzy podejściem darwinowskim i autopoietycznym nie

ma istotnej sprzeczności (LUISI 1998, 2003). Trudno jednak bronić takiego rozumowania, gdy obie definicje 1) odwołują się do odmiennych scenariuszy biogenezy oraz 2) odmiennie klasyfikują obiekty jako ożywione i nieożywione. (Definicja darwinowska uzna za ożywiony np. zbiór cząsteczek RNA ewoluujący *in vitro*, nieożywiony w świetle definicji autopoietycznej. Ta ostatnia uzna jednak za żywą pojedynczą komórkę, z czym z kolei może mieć problemy definicja darwinowska).

Być może pewnym sposobem pogodzenia wspomnianych stanowisk byłoby uzupełnienie definicji darwinowskiej o zdolność do samopodtrzymywania się pojedynczych osobników. Brzmiałaby ona np.: „życiem określamy zbiór samopodtrzymujących się (autopoietycznych) obiektów zdolnych do ewolucji drogą doboru naturalnego”. Od strony protobiologicznej połączenie na „równych prawach” wspomnianych koncepcji mogłoby dostarczyć np. koncepcja podwójnego początku stworzona przez DYSONA (1993). Należy jednak pamiętać, że racje natury logicznej nie mogą być jedynym kryterium oceny badań z zakresu biogenezy.

INNE PROPOZYCJE

Oczywiście definicje darwinowska i autopoietyczna nie stanowią jedynych współczesnych propozycji zdefiniowania życia. Liczba współczesnych koncepcji definiowania tego fenomenu jest trudna do precyzyjnego oszacowania. Sporządzone przez Radu Popę zestawienie prób zdefiniowania życia od 1855 r. obejmuje ok. 100 pozycji (POPA 2004)! Nie wszystkie są jednak w pełni oryginalne. Część to wariacje na temat tych samych podstawowych własności, w szczególności metabolizmu i ewolucji. Pośród morza podobnych koncepcji oryginalnością wyróżnia się definicja Bernarda Korzeniewskiego.

Autor ten proponuje zdefiniować podstawowe cechy życia w terminach cybernetyki. Punktem wyjścia nie jest jednak cybernetyka, ale teoria ewolucji. Zakłada on, że „życie 1) składa się z poszczególnych osobników, które 2) reprodukują się (co obejmuje także przekazanie ich tożsamości potomstwu) i 3) ewoluują (ich tożsamość może zmieniać się w czasie z pokolenia na pokolenie)” (KORZENIEWSKI 2001)¹⁵. Po dokonaniu interpreta-

cji tych cech w terminach cybernetycznych otrzymujemy definicję głoszącą, że „życiem (żyjącym osobnikiem) jest sieć podrzędnych negatywnych sprzężeń zwrotnych (mechanizmów regulatorowych) podlegająca działaniu (służąca) nadrzędnego dodatniego sprzężenia zwrotnego (potencjału do ekspansji)” (KORZENIEWSKI 2001, 2005; WOJTASZEK 2006)¹⁶. Pozornie wydawać by się mogło, że taka reinterpretacja nie wnosi do definicji życia nic nowego, gdyż jest to w pewnym sensie jedynie inaczej wyrażona definicja ewolucyjna. W rzeczywistości jednak podejście takie ma bardzo interesujące konsekwencje. W szczególności „uwalnia” podstawowe funkcjonalne własności życia od warunku posiadania ściśle określonych materialnych realizatorów (bez utraty możliwości ich ścisłego ujęcia). Używając terminologii filozofii nauki można powiedzieć, że definicja Korzeniewskiego zezwala na wieloraką realizację fenomenu życia. Jest to szczególnie istotne np. w obszarze astrobiologii, gdzie „ziemiocentryczne” podejście w definiowaniu życia było wielo-

¹⁵Tłumaczenie własne.

¹⁶Tłumaczenie P. Wojtaszek (WOJTASZEK 2006).

krotnie krytykowane (CLELAND i CHYBA 2002, POPA 2004, BENNER 2010, CLELAND 2012). Co prawda sam Korzeniewski jest bardzo ostrożny, jeśli chodzi o ten aspekt jego definicji. W swoim drugim, poświęconym jej artykule (KORZENIEWSKI 2005) stwierdza, że nie znamy innych realizatorów spontanicznie powstałego życia, niż związki organiczne. Powyższa uwaga Korzeniewskiego odnosi się jednak tylko do życia, które powstało w procesie biogenezy. Nie odmawia on możliwości skonstruowania sztucznego życia opartego na innym tworzywie. Zaznacza jednak, że takie formy życia-jakie-mogłoby-być są możliwe tylko przy uprzednim spontanicznym powstaniu życia organicznego (KORZENIEWSKI 2005).

Drugim, ciekawym aspektem definicji Korzeniewskiego jest zerwanie z tradycyjnym, strukturalnym ujęciem osobnika. W standardowej biologii za osobnika uznaje się jednostkę przestrzennie odseparowaną od otoczenia. Opisana powyżej definicja cybernetyczna nie nakłada na osobnika takich ograniczeń. Cybernetyczne indywiduum może składać się z kilku odseparowanych od siebie jednostek, oczywiście pod warunkiem, że uczestniczą one we wspólnej sieci negatywnych sprzężeń zwrotnych, podporządkowanej jednemu nadrzędnemu sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu. Taka sytuacja ma np. miejsce w przypadku kolonii owadów eusocjalnych. To kolonia, jako całość, stanowi cybernetyczne indywiduum i jest zarazem obiektem działania doboru naturalnego (KORZENIEWSKI 2005). Taka możliwość wydaje się stać w sprzeczności z niektórymi aspektami teorii doboru krewniaczego, która wyjaśnia istnienie tego typu kolonii bez potrzeby powoływania się na istnienie ponadorganizmalnych indywiduów (WOYCIECHOWSKI 2009). Choć Korzeniewski podkreśla znaczenie tej teorii dla tworzenia tożsamości przyszłych kolonii (KORZENIEWSKI 2001), to zarazem krytykuje koncepcję samolubnego genu, na pozór ściśle związaną ze wspomnianą teorią (KORZENIEWSKI 2005). Krytyka ta ma daleko idące skutki, jak np. opowiedzenie się po stronie teorii biogenezy Manferda Eigena, przeciwko bardziej rozpowszechnionej koncepcji świata RNA. Jeżeli pierwszymi, prawdziwymi istotami żywymi są hipercykle kwasów nukleinowych i białek, to geny nigdy nie były prawdziwie samodzielne, a zatem również nigdy nie mogły być uznane za prawdziwie „samolubne” (KORZENIEWSKI 2005).

Nie chciałbym w tym miejscu rozstrzygać przedstawionej powyżej sprzeczności. Teoria doboru krewniaczego stanowi ugruntowany fragment biologii ewolucyjnej i bardzo dobrze tłumaczy np. istnienie kolonii owadów z bezpłodnymi kastami, właśnie dzięki przyjęciu genetycznej interpretacji ewolucji. Choć robotnice się nie rozmnażają, to ich geny są jednak przekazywane kolejnym pokoleniom. Z drugiej jednak strony otwarte pozostaje pytanie, czy przynajmniej w niektórych przypadkach kolonia nie może być traktowana, jako ponadorganizmalna jednostka doboru?

Wspomniany aspekt koncepcji Korzeniewskiego, zerwanie ze strukturalnym pojmowaniem osobnika, ma znowu kapitalne znaczenie dla astrobiologii i sztucznego życia. Sugeruje bowiem, że życie mogłoby być nieco inne niż to, z którym się zazwyczaj stykamy.

Wśród polskich koncepcji interesująca jest także propozycja stworzona przez Andrzeja Gecowa. Podobnie jak u Korzeniewskiego, korzysta ona z dorobku i narzędzi nauk formalnych, w szczególności wybranych obszarów fizyki i teorii informacji. Gecow jest zdania, że kluczem do rozumienia życia jest skonstruowanie teorii celowości opartej na założeniach leżących poza biologią. Wynika to ze spostrzeżenia, że celowość jest obserwowana jedynie w obrębie procesu życia, który zawiera także ludzi i ich cywilizację. Prowadzi to do opisu mechanizmów darwinowskich (w szczególności doboru) w terminach wspomnianych już działów wiedzy. Całość rozważań ma strukturę dedukcyjną. Taki zabieg pokazuje, że możliwy jest spontaniczny proces przeciwny do wzrostu entropii¹⁷ (czyli spontaniczne gromadzenie informacji celowej). Pokazuje także, jakie własności ma taki proces, jeśli zaistnieje. Okazuje się, że musi to być testowanie losowych hipotez, a jedyny możliwy cel, do jakiego taki spontaniczny proces może zbierać informację celową to dalsze istnienie obiektu. Jest to więc dokładnie ewolucja darwinowska (GECOW 2008, 2013).

Badania Gecowa są w niektórych aspektach podobne do teoretycznych analiz Bernda-Olfa Küppersa (jedne i drugie bowiem starają się pokazać, że ewolucja darwinowska jest jak najbardziej możliwa z fizycznego punktu widzenia), z tą różnicą, że Gecow kładzie nacisk przede wszystkim na naturę procesu darwinowskiego, a nie

¹⁷Gecow ogranicza rozważania do entropii statystycznej, a nie fizycznej.

na jego „punkt startu”, jak to czyni KÜPPERS (1991).

Koncepcja Gecowa jest bardzo rozbudowana i nie ma w tu miejsca na omówienie większości jej aspektów. Warto jednak zwrócić uwagę na jej cechę szczególną, mianowicie procesualne ujęcie życia. Życie definiowane jest jako „samoistny, długi i możliwie efektywny proces zbierania informacji celowej” (GECOW 2008, 2013). „Informacja celowa” zostaje w obrębie koncepcji formalnie zdefiniowana, praktycznie zaś stanowi synonim częściej używanego określenia „informacja biologiczna”, jednak w przeciwieństwie do tego ostatniego jest ono ściśle zdefiniowane. Odwołanie do celu ma charakter teleonomiczny, a nie finalistyczny czy teleologiczny. Autor koncepcji stawia sobie bowiem za zadanie naturalizację tego użytecznego pojęcia.

Szczególnie oryginalne jest tu wskazanie, co ewoluuje. Chcąc wyjaśnić obecnie obserwowane cechy obiektów żywych, autor „wybiera” taki obiekt wskazując tym a posteriori całą nitkę ewolucyjną prowadzącą do niego. Odkładając bardziej złożone mechanizmy na późniejszą analizę, określa rozmnażanie (które wynika tu z warunku długości procesu) jako czyste powielanie, czyli w przedstawionym opisie procesu życia nie rozważa rozmnażania płciowego, ani innych form wymiany materiału dziedzicznego. Traci tym samym z oczu jeden z najistotniejszych aspektów życia, jego kolektywność, czyli charakter populacyjny. Różnice pomiędzy oboma tymi mechanizmami ewolucji wskazuje na przykładzie algorytmów ewolucyjnych i genetycznych (GECOW 2009).

W czasie trwania procesu ewolucji nitka zbiera informację celową testując losowe zmiany budowy i zapisując ją w postaci swojej budowy i wynikających z niej reakcji. Budowę tę określają tylko te modyfikacje, które okazały się zgodne z celem, jakim jest podtrzymanie istnienia. Przestały więc być losowe, pozostając okazały się celowe. Przypomina to interpretację naturalnej selekcji jako odmiany uczenia się organizmów opisany przez Daniela DENNETTA (1997) w *Naturze umysłów*.

Zdaniem Gecowa, typowe dla większości koncepcji życia poszukiwanie definicji żywego indywiduum jako jej podstawy jest błędne (GECOW 2008, 2013). Życie jest procesem, a obiekt jest jego wytworem i nośnikiem w zadanym środowisku, zatem mianem obiektów „ożywionych” należałoby opatrzyć wszystkie elementy tego procesu, choć by-

śmy nie chcieli ich uznawać za żywe. Elementami procesu życia są np. narzędzia (nazywane często artefaktami, np. sierpy, młotki, komputery etc.) wytwarzane przez jego inteligentne formy. Co ciekawe, byłyby one ożywione nie dlatego, że są produktami innych elementów procesu, one same także podlegają mechanizmom darwinowskim w odpowiednio ujętym środowisku biotycznym. Jak humorystycznie zauważa Gecow „z powodu drastycznych zmian środowiska sierpy już wyginęły” (GECOW 2008)¹⁸. Z uwagi na powyższe konsekwencje, autor powstrzymuje się od wskazania, co jest ożywione i pozostaje przy stwierdzeniu, że dany obiekt jest wynikiem procesu życia.

Przedstawiona powyżej procesualna koncepcja życia prowadzi jednak do pewnej konfuzji. Jak możliwe jest stworzenie ścisłej definicji życia, która zarazem nie może być zoperacjonalizowana? Uważam, że autor koncepcji podszedł do sprawy w sposób zbyt radykalny. Czy nie sensowniej byłoby uznać, że elementy procesu życia mogą być rozpoznane jako elementy tego procesu w jego kontekście, nie mogą zaś zostać rozpoznane jako należące lub nienależące do niego, gdy pozostają odseparowane?

Jak już wspominałem, poszczególne koncepcje życia można by wymieniać bardzo długo. Być może warto jeszcze wspomnieć pokrótce o propozycji, którą wypracowali RUIZ-MIRAZO i współaut. (2004). Stworzona przez nich definicja stanowi pewnego rodzaju próbę połączenia definicji autopoietycznej i darwinowskiej. Zgodnie z nią, „żywą istotą jest każdy autonomiczny system ze zdolnością do nieograniczonej ewolucji” (tłumaczenie własne). Ciekawym aspektem tej definicji jest to, że otwarcie nie wyklucza ona innych niż darwinowskie mechanizmów ewolucji, w tym nawet takich, które obecnie jeszcze nie są znane, a nawet nie mogą być obecnie przewidziane na podstawie wiedzy o organizacji znanych układów żywych.

Erwin Schrödinger napisał w 1944 r. słynną pracę pt. *Czym jest życie?* Książka wybitnego fizyka pokazywała, że dla życia podstawowe są dwie własności: rozmnażanie i metabolizm, choć, jak zauważa DYSON (1993), nie precyzowała w wystarczającym stopniu związków między tymi własnościami. Można jednak pokusić się o stwierdzenie, że ugruntowała ona pewne spojrzenie na życie, które jest do dziś dominujące. Chodzi o to, że życie należy definiować odwołując się

¹⁸Tłumaczenie własne.

właśnie do dwóch przedstawionych powyżej aspektów. Aby nie być gołosłownym, warto przywołać analizy poczynione przez GAYONA (2010) na podsumowanie współczesnej konferencji Definig Life (4-5 lutego 2008 r., Paryż). Zauważa on, że definicje przedstawiane przez prelegentów mają w większości charakter dwuaspektowy: odwołują się do metafizyki i rozmnażania/ewolucji.

Dwuaspektowe ujmowanie życia ma wiele zalet, które trudno przecenić. Znacznie redukuje liczbę przypadków problematycznych, tj. tworów, które wykazują tylko jedną

z wymienionych własności, jak np. wiry cieczy, płomień i komórki konwekcyjne z jednej strony, czy wirusy komputerowe, rosnące kryształy, z drugiej. Samo w sobie nie usuwa to wszystkich dylematów. Do rozwiązania pozostają problemy np. tych wirtualnych (softwarowych) organizmów, które w swoim cybernetycznym środowisku wykazują zarówno zdolność do samopodtrzymywania się, jak i ewolucji. Przewaga rozwiązań dwuaspektowych wydaje się być jednak, przynajmniej przy obecnym stanie wiedzy, zdecydowana.

SCEPTYCYZM

Odnosnie kwestii definiowania życia istnieje rozbudowany nurt sceptyczny, który głosi, że uniwersalna (a często nawet tymczasowo uniwersalna) definicja życia jest niepotrzebna i/lub niemożliwa do utrzymania. Problematykę tę szeroko omawiam w innych moich artykułach (CHODASEWICZ 2010, 2014b), dlatego też w tym miejscu ograniczę się do omówienia dwóch podstawowych argumentów.

Przeciwno współczesnym próbom definiowania życia ostro argumentują Carol E. Cleland i Christopher F. Chyba. Twierdzą oni, że przynajmniej współcześnie uniwersalna definicja życia jest niemożliwa, gdyż nie posiadamy żadnej teorii biologicznej o mocy eksplanacyjnej porównywalnej do mocy teorii współczesnej fizyki czy chemii (czyli nie ma w ogóle teorii w sensie *science*). Cleland i Chyba porównują współczesne próby definiowania życia do definiowania wody przed powstaniem nowoczesnej chemii. Definiując wodę, np. w czasach nowożytnych, mogliśmy wyliczać jej własności zmysłowe (ciepła, bezbarwna, bez smaku etc.), ale dopiero nowoczesna chemia powiedziała nam, że woda to H₂O. Dopiero ta ostatnia definicja pozwala na uniknięcie wszelkich konfuzji związanych z określeniem (na podstawie postrzegalnych cech) jako wody, czegoś, co wodą nie jest (CLELAND i CHYBA 2002, CLELAND 2012). Inny przykład przytaczany przez Cleland i Chybę dotyczy dyskusji na temat tego, czy nietoperze są ptakami? Odpowiedź na to pytanie nie była jasna przed powstaniem nowoczesnej taksonomii klasyfikującej organizmy przez pryzmat ich związków filogenetycznych (CLELAND i CHYBA 2002).

Czy jednak przedstawione przez Cleland i Chybę analogie są zasadne? Wiele wskazu-

je na to, że stawiają oni w stosunku do podstawowej teorii biologicznej nierealistyczne oczekiwania. Przede wszystkim zakładają, że fundamentalna teoria powinna być w stanie przewidzieć wszystkie możliwe formy życia. Miałyby to czynić w podobny sposób, jak współczesna chemia (wsparta oczywiście fizyką kwantową) pozwala na przewidzenie (przynajmniej w teorii) własności związków chemicznych jeszcze przed ich syntezą (CLELAND 2012). Tymczasem takie przewidywania byłby możliwe tylko w sytuacji, gdyby 1) biologia była w pełni niezależna od fizyki i chemii lub gdyby 2) można było zredukować biologię do wspomnianych nauk. W pierwszym wariancie mielibyśmy do czynienia ze skrajnym witalizmem, w drugim ze skrajnym mechanicyzmem biologicznym. Ponieważ pierwsza opcja jest z wielu względów nie do przyjęcia (MAYR 2002), pozostaje drugi wariant. Tu jednak natrafiamy na szereg problemów.

Po pierwsze, nie jest jasne w jaki sposób miałyby nastąpić redukcja cech funkcjonalnych, takich jak dziedziczność czy reprodukcja, które są podstawowymi kategoriami współczesnej biologii, do własności fizykochemicznych. Sprawa byłaby prosta, gdyby można było wykazać, że istnieje jedno-jednoznaczna odpowiedniość między np. własnościami określonych związków chemicznych budujących znane organizmy a wspomnianymi własnościami funkcjonalnymi stanowiącymi wymagania dla darwinowskiej ewolucji. Taki program badawczy rozwijał np. KÜPPRES (1991). Tymczasem, jak się wydaje, współczesne badania wskazują na istnienie dokładnie przeciwnej sytuacji. Wspomniane własności mogą być prawdopodobnie wielorako realizowane. Innymi słowy: różne struk-

turalnie elementy mogą być nośnikami tych własności. Widoczne to jest nie tylko w tym, że ewolucji mogą podlegać (oprócz „normalnych” organizmów) nie tylko różne związki chemiczne (DNA, RNA i inne), ale także obiekty zupełnie niemające nic wspólnego z chemią organiczną, np. abstrakcyjne obiekty podczas symulacji komputerowej. Istnieje także szereg danych, które sugerują, że mogą istnieć organizmy różniące się budową chemiczną od znanych nam form życia (CLELAND i COPLEY 2005).

Istnieją także inne argumenty przeciwko linii rozumowania Cleland. Dla procesu naturalnej selekcji istotne są dwa zjawiska, których teoria ewolucji nie jest w stanie przewidzieć. Pierwszym są losowe mutacje, które stanowią podstawowe źródło zmienności. Mutacje są losowe ze względu na ich wartość przystosowawczą (KRZANOWSKA 2002), wiemy jednak, jakie czynniki mogą je wywoływać (promieniowanie, temperatura itp.) i, że zachodzą one z fundamentalnych względów fizycznych (URBANEK 1973, KORZENIEWSKI 2005), a zatem są one od praw biologii zupełnie niezależne.

Druga kwestia łączy się z poprzednią i dotyczy oddziaływania środowiska, które przecież ma w teorii ewolucji także kluczowe znaczenie. To czy wywołana mutacją zmiana organizmu okaże się korzystna czy nie i ulegnie upowszechnieniu w populacji, zależy przecież od tego, w jakim środowisku żyje wspomniany organizm. I odwrotnie: organizmy posiadające adaptacje do określonych warunków mogą ulec zagładzie, jeśli te warunki ulegną zmianie. Trudno jednak oczekiwać, że teoria biologiczna będzie mogła przewidywać wszystkie warunki środowiska (geologiczne, meteorologiczne itp.), które mogą mieć wpływ na organizmy. Sprawę dodatkowo komplikuje znany fakt, że organizmy są obiektami bardzo złożonymi i nawet niewielkie zmiany środowiska mogą wpływać na upowszechnianie się lub zanik niektórych genotypów. Z tego względu trudno wyobrazić sobie powstanie teorii biologicznej mogącej *a priori* przewidzieć wszystkie możliwości form życia¹⁹.

¹⁹Co ciekawe, Bernd-Olaf Küppers, który, jak już wspomniałem, bronił redukcjonizmu w biologii, wskazywał zarazem, że zarówno złożoność organizmów, jak i losowość mutacji, a także historyczny charakter przemian ewolucyjnych (kolejne etapy są efektem wcześniejszych procesów optymalizacji: mutacja-selekcja) sprawiają, że wyjaśnienia/przewidywania w biologii nie mogą być tak dokładne, jak w fizyce. Szczególnie drugie ograniczenie ma charakter fundamentalny i nie może być wyeliminowane (KÜPPERS 1991).

Nieco inny rodzaj sceptycyzmu w kwestii definiowania życia jest reprezentowany przez amerykańskiego filozofa MACHERY'EGO (2012). Jest on autorem słynnego artykułu *Why I stopped worrying about the definition of life... and why you should as well*, w którym szczegółowo wyklada, dlaczego, jego zdaniem, uniwersalna definicja życia jest niemożliwa. Trzon argumentacji Machery'ego stanowi argument z tzw. kłopotu z bogactwem (ang. embarrassment of riches). Chodzi o to, że stworzeniem definicji życia zainteresowane są różne dyscypliny: biologia ewolucyjna, protobiologia, sztuczne życie, astrobiologia itp. Dyscypliny te różnią się jednak, co do swych celów badawczych, a zatem także, co do swych oczekiwań. „Ewolucyjna definicja życia może być atrakcyjna w biologii syntetycznej, ponieważ, w laboratorium naukowcy mogą obserwować, czy produkty ich badań są zdolne do ewoluowania. Jest jednak znacznie mniej atrakcyjna w astrobiologii dla celów poszukiwań życia *in situ* w okresach czasu zbyt krótkich dla znalezienia dowodów na ewolucję. Co więcej, badania w tych dziedzinach skupiają się na różnych fenomenach. Astrobiologia interesuje się molekularnymi składnikami komórek ze względów praktycznych: mogą być one traktowane jako kluczowe wskazówki obecności życia na innych planetach. Oczywiście, ALife nie przykładą do nich uwagi, gdyż propaguje funkcjonalną definicję życia” (MACHERY 2012)²⁰. Machery zaznacza, że nie ma żadnej instancji pozwalającej na rozstrzygnięcie pomiędzy różnymi definicjami życia motywowanymi różnymi celami i oczekiwaniami.

Z argumentacją Machery'ego można polemizować w detalach. Na przykład założenie, że astrobiologia oczekuje prostej do praktycznego zastosowania definicji biochemicznej może być łatwo podważony, gdyż – jak pokazywałem wcześniej – oficjalną definicją życia przyjmowaną roboczo przez NASA jest definicja darwinowska (a zatem funkcjonalna z natury). Zwalczanie pojedynczych kontrowersji niewiele jednak pomoże przeciw głównej osi argumentacji – istnienie różnych oczekiwań, co do funkcji i treści definicji życia wydaje się być trudne do zakwestionowania. Jak jednak pisałem już w innym miejscu (CHODASEWICZ 2010), Machery wydaje się pomijać nadrzędną integrującą rolę teorii ewolucji w dziedzinie biologii, a tym samym wydaje się nie dostrzegać jej potencjalnej roli jako nadrzędnej instancji rozstrzygającej

²⁰Tłumaczenie własne.

w kwestii definiowania życia. W tym aspekcie jego koncepcja wydaje się być bardzo podobna do podejścia Cleland. Skoro nie ma

uprzywilejowanej teorii biologicznej, to i ze zbioru różnych definicji nie możemy wyłuścić tej „właściwej”.

MIĘDZY OCZEKIWANAMI A REALIZMEM

Być może przyjęcie proponowanej powyżej tezy o wielorakiej realizacji życia, a co za tym idzie tezy o jego funkcjonalnej naturze, pozwoliłoby na szybsze znalezienie definicji uniwersalnej? Podejście takie musi spotkać się z silnym sprzeciwem, gdyż współczesna biologia zawdzięcza wiele swych sukcesów redukcjonistycznej metodologii polegającej na wyjaśnieniu wielu zjawisk biologicznych w kategoriach fizykochemicznych (URBANEK 1973, KÜPPERS 1991). Wśród nich największym sukcesem było z pewnością odkrycie molekularnych podstaw dziedziczności. Z drugiej strony, istnieje wiele przesłanek za tym, że prawa i własności biologiczne są emergentne i wielorako realizowane, co powoduje, że powinny być traktowane jako przynależne do wyższego poziomu ontycznego (URBANEK 1987, LUISI 2002, CHODASEWICZ 2013). Rozpatrzmy raz jeszcze przykład wymagań dla zachodzenia ewolucji przez naturalną selekcję: ani reprodukcja, ani dziedziczna zmienność nie są własnościami, które muszą być jedno-jednoznacznie utożsamiane z określonymi własnościami fizykochemicznymi, a zatem można je traktować jako własności funkcjonalne wyższego rzędu, względnie niezależne od ich fizykochemicznych realizatorów. (Stwierdzenie to nie jest w żadnym wypadku tożsame z twierdzeniem, że mogą one istnieć bez fizykochemicznych realizatorów lub, że obiekt o dowolnych własnościach fizykochemicznych może być ich realizatorem). Podobnie ma się sprawa z metabolizmem, gdyż własność do samopodtrzymywania się na skutek przepływu energii i materii przez system może być realizowana przez wiele różnych struktur. Jak się wydaje, teza o funkcjonalnej naturze życia ma silne podstawy.

Zalety wzmiankowanej powyżej tezy o istocie bytu ożywionego objawiałyby się m.in. w ten sposób, że pozwalałaby ona na uniknięcie napięcia między podejściem substancjalnym a funkcjonalnym, które

obecne jest w wielu (jeśli nie we wszystkich) dyscyplinach zainteresowanych zdefiniowaniem życia. Symptodem takiego napięcia jest np. posługiwanie się definicjami ewolucyjnymi w sferze deklaracji programowych, a następnie poszukiwanie „wygodnych” definicji biochemicznych na potrzeby detekcji życia. Tak jest m.in. w astrobiologii, gdzie mimo „obowiązywania” definicji darwinowskiej, poszukiwania wciąż głównie opiera się na szukaniu związków organicznych (CHYBA i HAND 2005).

Przyjęcie funkcjonalnego spojrzenia na życie może mieć jednak także pewne niechciane konsekwencje. Choć powinno ono pomóc w stworzeniu uniwersalnej definicji życia, może także wymusić rewizję części naszych oczekiwań jej dotyczących. Jak już wspomniałem wcześniej wielu filozofów i naukowców oczekuje, aby przyszła definicja życia pełniła istotną funkcję heurystyczną: np. pomagała stawiać nowe hipotezy dotyczące miejsc występowania życia poza Ziemią lub alternatywnych form życia na naszej planecie. Szeroka definicja funkcjonalna powinna śmiało podołać temu zadaniu. Zarazem jednak część autorów oczekuje, że definicja życia ma być tzw. definicją istotną pełniącą ważną rolę wyjaśniającą (RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004, KORZENIEWSKI 2005). Ten wyjaśniający aspekt definicji ma być szczególnie widoczny we wskazywaniu na konkretny scenariusz biogenezy (RUIZ-MIRAZO i współaut. 2004). Nie trudno zaważyć, że te oczekiwania stoją ze sobą w pewnej sprzeczności, gdyż definicja wyjaśniająca w powyższym sensie powinna być raczej bardzo wąska. Co więcej, funkcjonalne ujęcie życia sugeruje, że jest ono (przynajmniej potencjalnie) heterogenicznym fenomenem. Tym samym podejście funkcjonalne wydaje się wykluczać z ujęciem genetycznym wskazanym powyżej. Być może jest to cena jaką musimy zapłacić za szeroką, uniwersalną definicję życia.

DEFINIOWAĆ CZY NIE? WSPÓŁCZESNE KONTROWERSJE NA TEMAT POTRZEBY I SPOSOBU DEFINIOWANIA ŻYCIA

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest krytyczny przegląd współczesnych prób definiowania życia. Szeroko omówiono w nim dwie najczęściej cytowane definicje życia: darwinowską i autopoietyczną, a także cybernetyczną definicję życia Bernarda Korzeniewskiego, koncepcję informacji celowej Andrzeja Gecowa oraz definicję Kepy Ruiza-Mirazo i współpracowników (autonomia i nieograniczona ewolucja). Dodatkowo omówiono metodologiczny kontekst definiowania życia. Przedstawiono i zanalizowano

formalne aspekty definiowania, a także oczekiwania dotyczące funkcji definicji życia w biologii. Wskazano, że funkcjonalne i dwuaspektowe podejście do definiowania życia („metabolizm plus ewolucja”) wydaje się być najbardziej obiecujące. Autor odpiiera sceptyczne argumenty (przede wszystkim tworzone przez Carol Cleland i jej współpracowników oraz Edouarda Machery’ego) przeciwko możliwości zdefiniowania życia lub wskazujące na zupełną bezużyteczność definicji życia w biologii.

DEFINE OR NOT? THE MODERN CONTROVERSIES ABOUT THE NEED AND METHOD OF DEFINING LIFE

Summary

The aim of this paper is to provide a critical review of the modern approaches to defining life. The two most frequently cited definitions of life – Darwinian and autopoietic – are broadly discussed. Bernard’s Korzeniewski cybernetic definition of life, the Andrzej Gecow’s concept of purposeful information and Kepy Ruiz-Mirazo’s and co-workers definition of life (life as autonomy and open-ended evolution) are also analyzed. Additionally, I analyze the methodological framework of discussion about life and

discuss the expectations of the formal aspects and the functions of definition of life. I suggest that the functional and dichotomous (metabolism plus evolution) approach to life definition seems to be the most successful one. I am also trying to deny the skeptical arguments as to the possibility and/or usefulness of definition of life, presented, in the first line of all, by Carol Cleland and her co-workers and by Edouard Machery.

LITERATURA

- AJDUKIEWICZ K., 1974. *Logika pragmatyczna*. PWN, Warszawa.
- BENNER S. A., 2010. *Defining life*. *Astrobiology* 10, 1021-1030.
- BODEN M. A., 2000. *Autopoiesis and life*. *Cognitive Science Quarterly* 1, 117-145.
- BRACK A., TROUBLÉ M., 2010. *Defining Life: Connecting Robotics and Chemistry*. *Orig. Life Evol. Biosph.* 40, 131-136.
- CHODASEWICZ K., 2010. *Między optymizmem a sceptycyzmem. Rozważania nad perspektywami uniwersalnej definicji życia*. *Studia Philosophica Wratislaviensia* 5, 75-96.
- CHODASEWICZ K., 2013. *Wieloraka realizacja i życie*. *Filozofia i Nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne* 1, 115-135.
- CHODASEWICZ K., 2014a. *Evolution, reproduction and definition of life*. *Theory Biosci.* 133, 39-45.
- CHODASEWICZ K., 2014b. *Is the nature of life unknown? The predictions in evolutionary biology and defining of life*. *Dialogue Universal.* 24, 51-61.
- CHYBA C. F., HAND K. P., 2005. *Astrobiology: The Study of the Living Universe*. *Ann. Rev. Astronom. Astrophys.* 43, 31-74.
- CLELAND C. E., 2012. *Life without definitions*. *Synthese* 185, 125-144.
- CLELAND C. E., CHYBA C. F., 2002. *Defining 'life'*. *Orig. Life Evol. Biosph.* 32, 387-393.
- CLELAND C. E., COPLEY S. D., 2005. *The possibility of alternative microbial life on Earth*. *Int. J. Astrobiol.* 4, 165-173.
- DENNETT D.C., 1997. *Natura umysłów*. Wydawnictwo CIS, Warszawa.
- DYSON F., 1993. *Początki życia*. Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa.
- EL-HANI C. N., 2008. *Theory-based approaches to the concept of life*. *J. Biol. Educat.* 4, 147-149.
- EMMECHE C., 1992. *Life as an abstract phenomenon: is artificial life possible? [W:] Towards a practice of autonomous systems*. *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. BOURGINE P., VARELA F. J. (red.). MIT Press, Cambridge, 466-474.
- FLEISCHAKER G. R., 1988. *Autopoiesis: the status of its system logic*. *BioSystems*, 22, 37-49.
- GÁNTI T., 1986. *Podstawy życia*. Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna”, Warszawa.
- GANTI T., 2003. *The principles of life*. Oxford University Press, New York.
- GAYON J., 2010. *Defining Life: Synthesis and Conclusions*. *Orig. Life Evol. Biosph.* 40, 231-244.
- GECOW A., 2008. *The Purposeful Information. On the Difference between Natural and Artificial Life*. *Dialogue Universal.* 11-12, 191-206.
- GECOW A., 2009. *Algorytmy ewolucyjne i genetyczne, ewolucja sieci złożonych i model regulacji genowej a mechanizm darwinowski*. *Kosmos*, 58, 429-442.
- GECOW A., 2013. *Informacja, formalna celowość i spontaniczność w podstawach definicji życia*. *Filozofia i Nauka. Studia filozoficzne i interdyscyplinarne* 1, 83-113.
- GROBLER A., 2006. *Metodologia nauk*. Wydawnictwo Aureus, Wydawnictwo Żnak, Kraków.

- HEMPEL C. G., 2001. *Filozofia nauk przyrodniczych*. Fundacja Aletheia, Warszawa 2001.
- JEUKEN M., 1975. *The Biological and Philosophical Definitions of Life*. Acta Biotheoretica 24, 14-21.
- JOYCE G. F., 1994. *Foreword*. [W:] *Origins of life. The central concepts*. DEAMER D. W., FLEISCHAKER G. R. (red.). Jones and Bartlett Publishers, Boston, London, 11-12.
- KORZENIEWSKI B., 2001. *Cybernetic formulation of the definition of life*. J. Theoret. Biol. 209, 75-286.
- KORZENIEWSKI B., 2005. *Confrontation of the cybernetic definition of living individual with the real world*. Acta Biotheoret. 53, 1-28.
- KOTEJA P., 2009. *Ewolucja eksperymentalna*. Kosmos 58, 459-474.
- KRZANOWSKA H., 2002. *Zapis informacji genetycznej* [W:] *Zarys mechanizmów ewolucji*. KRZANOWSKA H., ŁOMNICKI A. (red.). PWN, Warszawa, 17-72.
- KÜPPERS B.-O., 1991. *Geneza informacji biologicznej. Filozoficzne problemy powstania życia*. PWN, Warszawa.
- LAZCANO A., 2008. *Towards a definition of life: the impossible quest?* Space Sci. Rev. 135, 5-10.
- LUISE P. L., 1998. *About various definitions of life*. Orig. Life Evol. Biosph. 28, 613-622.
- LUISE P. L., 2002. *Emergence in chemistry: chemistry as the embodiment of emergence*. Found. Chem. 4, 183-200.
- LUISE P. L., 2003. *Autopoiesis: a review and a reappraisal*. Naturwissenschaften 90, 49-59.
- ŁOMNICKI A., 2002. *Dobór, dryf i inne czynniki kształtujące częstość genów* [W:] *Zarys mechanizmów ewolucji*. KRZANOWSKA H., ŁOMNICKI A. (red.). PWN, Warszawa, 154-214.
- ŁOMNICKI A., 2009. *Dobór naturalny*. Kosmos 58, 323-334.
- ŁUGOWSKI W., 1987. *Paradoks powstania życia*. Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna”, Warszawa.
- ŁUGOWSKI W., 1995. *Filozoficzne problemy protobiologii*. Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa.
- ŁUGOWSKI W., 2008. *Progress or Crisis in the Origin-of-Life-Studies? A Philosophical Perspective*. Dialogue Universal. 11-12, 191-206.
- MACHERY E., 2012. *Why i stopped worrying about the definition of life... and why you should as well*. Synthese 185, 145-164.
- MAINZER K., 2007. *Poznanawanie złożoności. Obliczeniowa dynamika materii, umysłu i ludzkości*. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- MAYNARD SMITH J., 1992. *Problemy biologii*. PWN, Warszawa.
- MAYNARD SMITH J., SZATHMÁRY E., 2000. *Tajemnice przełomów w ewolucji*. PWN, Warszawa.
- MAYR E., 2002. *To jest biologia. Nauka o świecie ożywionym*. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- MONOD J., 1972. *Chance & Necessity. An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Collins, London.
- OLIVER J. D., PERRY R. S., 2006. *Definitely life but not definitively*. Orig. Life Evol. Biosph. 36, 515-521.
- POPA R., 2004. *Between Necessity and Probability: Searching for the Definition and Origin of Life*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- PROSS A., 2011. *Toward a general theory of evolution: extending Darwinian theory to inanimate matter*. J. Syst. Chem. 2, 1.
- RUIZ-MIRAZO K., PERETO J., MORENO A., 2004. *A universal definition of life: autonomy and open-ended evolution*. Orig. Life Evol. Biosph. 34, 323-346.
- SAGAN C., 1984. *Life*. [W:] *The New Encyclopaedia Britannica*. Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 893-911.
- SCHULZE-MAKUCH D., IRWIN L. N., 2006. *The prospect of alien life in exotic forms on other worlds*. Naturwissenschaften 93, 155-172.
- URBANIEK A., 1973. *Rewolucja naukowa w biologii*. Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna”, Warszawa.
- VARELA F. G., MATURANA H. R., URIBE R., 1974. *Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model*. BioSystems 5, 187-196.
- WOJCIECHOWSKI M., 2009. *Dobór krewniaczy a ewolucja owadów eusocjalnych*. Kosmos 58, 347-355.
- WOJTASZEK P., 2006. *Koncepcje pojmowania życia i komórki roślinnej*. [W:] *Biologia komórki roślinnej. Struktura*. WOJTASZEK P., WOŹNY A., RATAJCAK L. (red.). PWN, Warszawa, 303-326.
- ZHURAVLEV Y. N., AVETISOV V. A., 2006. *The definition of life in the context of its origin*. Biogeosci. Discuss. 3, 155-181.