

Sztuczne żywe osobniki - osobniki rozproszone?

Autor tekstu: **Bernard Korzeniewski**

A. Cybernetyczna definicja żywego osobnika

Zdarzyło mi się zaproponować cybernetyczną definicję podstawowej „jednostki” życia (równoważnej podmiotowi ewolucji) – żywego osobnika. [1] Wedle tej definicji osobnik żywy to sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych podpodzadkowanych naczelnemu sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu. Mówiąc bardziej po ludzku, chociaż w dużym uproszczeniu, osobnik żywy to homeostatyczny replikator. Za szeroko pojętą homeostazę odpowiadają właśnie sprzężenia zwrotne ujemne. Ich nazwa bierze się stąd, że przeciwdziałają one odchyłaniu się wartości jakiegoś parametru od wartości zadanej (np. funkcją termostatu jest utrzymywanie stałej temperatury w lodówce). Typowym przykładem takiego sprzężenia u organizmów żywych jest regulacja syntezy wielu aminokwasów. Wysokie stężenie aminokwasu blokuje enzym katalizujący pierwszą reakcję w szlaku metabolicznym prowadzącym do jego syntezy, natomiast spadek tego stężenia prowadzi do odblokowania enzymu i wzrostu szybkości syntezy aminokwasu. W wyniku działania tego mechanizmu regulacyjnego stężenie aminokwasu utrzymuje się na względnie stałym poziomie. Inny przykład to regulacja stężenia glukozy we krwi przez dwa antagonistycznie działające hormony: insulinę i glukagon, z których pierwszy to stężenie obniża, a drugi podwyższa. Takich, wzajemnie ze sobą powiązanych i współwarunkujących się sprzężeń zwrotnych ujemnych są w organizmach żywych dziesiątki tysięcy. Występują one na różnych poziomach: biochemicznym, genetycznym, komórkowym, fizjologicznym, całego organizmu. Utrzymują stałość warunków wewnętrznych (homeostazę), niwelują zaburzenia pochodzące z otoczenia, nadzorują przebieg rozwoju zarodkowego (embriogenezy), sterują behawiorem i kontrolują funkcje poznawcze. Z punktu widzenia cybernetycznego organizm żywy „zbudowany” jest z sieci mechanizmów regulacyjnych, na czele ze sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi. Cybernetyka charakteryzuje te sprzężenia jako mechanizmy dążnościowe, nakierowane na realizacją pewnego celu. Podrzednym celem poszczególnych sprzężeń może być np. utrzymywanie stałego stężenia aminokwasu w komórce lub glukozy we krwi. Natomiast nadrzednym celem całej sieci (współwarunkujących się) sprzężeń zwrotnych ujemnych składających się na (regulacyjny aspekt) osobnika żywego jest naczelne sprzężenie zwrotne dodatnie, czyli powielenie się tego osobnika w możliwie dużej ilości kopii. Moim zdaniem ta formalna definicja jest wystarczająco abstrakcyjna i obszerna, aby stosowała się nie tylko do naturalnego, spontanicznie powstałego życia znanego nam na Ziemi, ale także do sztucznego życia skonstruowanego przez jakieś istoty rozumne, a nawet do wirtualnego życia zaimplementowanego w pamięci operacyjnej komputera. Z drugiej strony, wydaje się rzeczą niezmiernie ciekawą, jakie ograniczenia na realizację tej definicji, należącej w pewnym sensie do świata platońskich idei, narzuca realny świat w którym żyjemy. Udało mi się na przykład wykazać (pozycja 2 w przypisie 1), że konfrontacja cybernetycznej definicji żywego osobnika z fizyczną rzeczywistością implikuje np. rozdzielanie u osobników żywych zapisu struktury i funkcji w postaci zestawu instrukcji wykonawczych prowadzących do ich wytworzenia (u obecnych ziemskich organizmów jest to DNA plus cały aparat genetyczny) od maszyneryi wykonawczej realizującej wszystkie bieżące funkcje (na poziomie komórki jest to przede wszystkim zespół enzymów), a także fakt ewolucji i adaptacji organizmów żywych.

B. Naturalne życie oparte na elementach/maszynach molekularnych

Skrajnie wyróżnioną cechą naturalnego życia, kiedy porównamy je z różnymi urządzeniami, maszynami, robotami, silnikami i mechanizmami zbudowanymi przez ludzi, jest fakt, że struktura, a w szczególności funkcja osobników żywych jest oparta na („zaczyna się” od, jest zakotwiczona w) molekularnym poziomie rzeczywistości fizycznej. Oznacza to, że pojedyncze (makro)cząsteczki związków organicznych, przede wszystkim białek, ale także lipidów, węglowodanów, kwasów nukleinowych (RNA, DNA) leżą u podstawy przestrzennych form przyjmowanych przez życie i wszystkich procesów zachodzących w tych formach. Strukturalne molekularne cegiełki (komórek) żywych osobników obejmują takie obiekty, jak cytoszkielet, błony białkowo-lipidowe (złożone z dwuwarstwy lipidowej oraz zakotwiczonych w niej nośników, receptorów, enzymów, białek

uczestniczących w przekazywaniu sygnałów, elementów łańcuchów przenoszenia elektronów itd.) oraz rozmaite białka i inne związki oraz ich kompleksy zawieszane w cytoplazmatycznej fazie wodnej. Maszynami molekularnymi, które „realizują” cały metabolizm są enzymy mające naturę białkową (złożone są z jednej lub kilku(nastu) podjednostek polipeptydowych). Istnieją także większe (bardziej makroskopowe, ale ciągle molekularne) maszyny, na przykład witki i rzeski (napędzane przez molekularne motory), które poruszają pojedyncze komórki w wodzie lub przemieszczają wodę na zewnątrz komórek organizmów wielokomórkowych, filamenty aktynomyozynowe odpowiedzialne za skurcz mięśnia, rybosomy (złożone z dwóch wielkich podjednostek) przeprowadzające syntezę białek, wrzeczono kariokinetyczne zaangażowane w rozdział chromosomów do potomnych jąder i komórek podczas podziałów komórkowych, itd. Ogólnie rzecz biorąc, to (makro)molekuły stanowią najbardziej fundamentalne jednostki struktury oraz, zwłaszcza, funkcji układów biologicznych. Krótko mówiąc, najniższym strukturalno-funkcjonalnym poziomem naturalnego spontanicznie powstałego życia jest poziom molekularny. Nie oznacza to jednak w żadnym razie prymitywnego redukcjonizmu, ignorującego szereg cech emergentnych pojawiających się na poziomie komórkowym, fizjologicznym lub całych osobników.

Fakt, że naturalne osobniki żywe oparte są na maszynach molekularnych implikuje szereg ich wtórnych właściwości. Przede wszystkim, przez układy biologicznie płynie ciągły strumień materii i energii (i termodynamicznej informacji). Jednocześnie, ich forma zostaje zachowana, lub przynajmniej zmienia się o wiele wolniej, niż zachodzi wymiana składających się na nie substancji. Innymi słowy, osobniki żywe są strukturami dyssypatywnymi, zorganizowanymi w czasie i przestrzeni, które mogą utrzymywać (prawie) niezmienioną formę, ale nieustannie pobierają i wydają materiał budulcowy, co jest napędzane dyssypacją energii (wzrostem entropii otoczenia). Atomy budujące nasze ciała są z nich usuwane w ciągu tygodni/miesiący i zastępowane przez nowe atomy pobrane jako pożywienie (pewien wyjątek stanowią mineralne składniki kości i zębów). Białka i inne związki organiczne ulegają uszkodzeniu (np. przez wolne rodniki, lub po prostu w wyniku ruchów termicznych molekuł) i zostają zastąpione przez nowo zsyntetyzowane związki. Wymianie ulega także wiele komórek, np. krwinek lub komórek naskórka. Ogólnie rzecz biorąc, maszyny molekularne nie tylko leżą u podstaw budowy i funkcjonowania żywych osobników, ale są także ciągle syntetyzowane i rozkładane (czego dokonują oczywiście inne maszyny molekularne).

Inną cechą charakterystyczną naturalnych osobników żywych opartych na maszynach molekularnych jest zdolność do naprawy różnych uszkodzeń bez potrzeby wymiany dużych podjednostek (modułów, części) organizmu. Po prostu osobniki żywe nie używają części zapasowych (zamiennych). Nowe, zregenerowane elementy są tworzone przez już istniejące elementy. Jest to możliwe, ponieważ naprawa / regeneracja zachodzi, mniej lub bardziej bezpośrednio, na poziomie molekularnym.

Naprawiane są uszkodzenia w podwójnej nici DNA, a uszkodzone białka ulegają rozkładowi i są zastępowane przez nowo zsyntetyzowane białka. To samo dotyczy innych związków organicznych. Białka szoku cieplnego pomagają przybrać natywną konformację białkom zdenaturowanym w wyniku wysokiej temperatury lub innych stresogennych czynników. W podobny sposób zostają naprawione lub wymienione komórkowe struktury wyższego rzędu i całe komórki. Naprawa / regeneracja zachodzi także na poziomie fizjologicznym — za przykład może służyć gojenie się ran, zrastanie kości, zwalczanie pasożytów i infekcji lub odrastanie utraconych kończyn u płazów. We wszystkich tych przypadkach naprawa / regeneracja zachodzi mniej lub bardziej bezpośrednio na poziomie molekularnym (oparta jest m.in. na syntezie nowych białek oraz działaniu białek już istniejących).

Potomne osobniki żywe same się rozwijają (samokonstruuują się) podczas rozwoju embrionalnego i zarodkowego. Nie są one budowane przez ich rodziców poprzez dodawanie kolejnych części / elementów. Wprost przeciwnie — struktura i funkcja ich ciał powstaje stopniowo poprzez wzrost i różnicowanie się pewnego stosunkowo prostego „założka”. W szczególności, u organizmów wielokomórkowych rozwój zarodkowy startuje (zazwyczaj) od zapłodnionej komórki jajowej (zygoty) i polega na podziałach, możliwym wzroście rozmiarów i różnicowaniu się komórek. Cały ten proces jest zasadniczo endogenny: rodzicielskie osobniki żywe w nim nie uczestniczą (z małymi, raczej nieistotnymi wyjątkami). Oczywiście np. u ssaków matka wspomaga embrion i młodego osobnika, ale nie zmienia to istoty sprawy. Ponownie, taki spontaniczny samorozwój „założka” jest możliwy ze względu na molekularne podłoże jego funkcjonowania — kluczową rolę odgrywa tu na przykład regulacja ekspresji genów, wytwarzanie gradientów morfogenów, wzajemne wspomaganie się elementów komórki w syntezie nowych elementów itd.

C. Sztuczne życie oparte na elementach/maszynach ponadmolekularnych

Liczne istniejące lub wyimaginowane układy / obiekty / zjawiska traktowane czasem jako „sztuczne życie” [2], zarówno rzeczywiste — roboty — jak i wirtualne, istniejące jedynie w pamięci operacyjnej komputera, w istocie nie są wcale „żywe”. Nie spełniają one bowiem cybernetycznej definicji żywego osobnika — nie posiadają sieci celowych mechanizmów regulacyjnych nakierowanych na ich przetrwanie i samopowielanie. Jedynymi potencjalnymi kandydatami są tak zwane samo-replikujące się maszyny. [3] Ale i one musiałyby zostać wyposażone w sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych adekwatną do ich środowiska („niszy ekologicznej”).

W tym miejscu chciałbym ograniczyć pojęcie „sztucznych żywych osobników” do jakichś układów pozostawionych przez ich inteligentnych twórców samym sobie np. na powierzchni jakiejś odległej planety. Takie układy musiałyby być całkowicie samodzielne i samowystarczalne w swej egzystencji i reprodukcji. Nie mam tu przy tym na myśli „wariacji na temat” naszego ziemskiego życia, a więc na przykład jakichś komórek zbudowanych z nieco odmiennych związków organicznych. Chodzi mi raczej o twory zasadniczo odmienne, zbudowane, powiedzmy, z metali, plastiku, szkła, półprzewodników, fullerenów, itd. Układy takie musiałyby wykonywać szereg rozmaitych funkcji, w tym: 1. znajdować i wydobywać rozmaite substancje (rudę metali, krzem, siarkę, węgiel, różne rodzaje skał itd.) potrzebne do budowy składników swoich ciał (albo polować na inne formy sztucznego życia w celu pozyskania tych substancji); 2. przetwarzać te „pierwotne” surowe substancje w inne substancje bezpośrednio potrzebne do wytwarzania tych składników (wytapiać metale z rud, przeprowadzać rozmaite syntezy chemiczne, produkować plastik lub szkło); 3. produkować budulcowe komponenty / elementy swoich ciał — np. druty, diody, półprzewodniki, „skielec”, części mechaniczne; 4. produkować elementy / części wyższego rzędu — np. baterie / akumulatory, obwody elektryczne, silniki, mikroprocesory; 5. wykrywać defekty / uszkodzenia swoich ciał; 6. wymieniać / naprawiać nie funkcjonujące prawidłowo części swoich ciał; 7. umożliwiać konstruowanie / wytwarzanie całych ciał swoich potomków; 8. zachowywać, kopiować i realizować swój „zapis genetyczny”, czyli zestaw instrukcji prowadzących do takiej, a nie innej struktury i zespołu funkcji u osobników potomnych; 9. odbierać rozmaite bodźce ze środowiska; 10. odpowiednio reagować na te bodźce poprzez określony behavior; 11. wykorzystywać dostępne źródła energii (promieniowanie elektromagnetyczne, reakcje jądrowe, reakcje chemiczne, wyładowania atmosferyczne); 12. regulować, sterować i koordynować wszystkie powyższe funkcje; i tak dalej.

Naturalne osobniki życia będące „składnikami” samoistnie powstałego życia radzą sobie z analogicznymi zadaniami bez problemu. Omawiane funkcje realizowane są w nich, mniej lub bardziej bezpośrednio, przez molekularne maszyny posiadające charakter złożonych związków organicznych.

A co ze „sztucznymi osobnikami”? Tu pojawia się problem. Wedle naszej wiedzy jedynie organiczne związki węgla są wystarczająco złożone i zróżnicowane, aby móc stanowić molekularne elementy / maszyny leżące u podstaw funkcjonowania naturalnych osobników żywych. A zatem podstawowym, „najniższym” poziomem funkcjonowania sztucznych organizmów żywych opartych na innych substancjach musiałyby być poziom ponadmolekularny, jak to ma miejsce u współczesnych robotów lub komputerów — ich najbardziej podstawowe elementy (np. mikroprocesory, kable, diody) to ogromne (z molekularnego punktu widzenia), sztucznie ukształtowane w procesie technologicznym zespoły atomów i molekuł (molekuły te są jednak znacznie prostsze od złożonych cząsteczek organicznych). Ma to ogromne konsekwencje.

W sztucznych „ponadmolekularnych” osobnikach nie zachodzi ciągły przepływ materii i energii przez ich ciała — ich elementy / części / podjednostki pozostają niezmiennione, materia (atomy) z których są złożone nie ulega wymianie ze środowiskiem (dlatego, oczywiście, sztuczne osobniki nie są strukturami dyssypatywnymi). Lub, dokładniej, w tych elementach / częściach / podjednostkach zachodzi stały wzrost entropii, co z czasem może doprowadzić do defektów. Oczywiście, mogą one także zostać w sposób bardziej gwałtowny uszkodzone w wyniku wpływów zewnętrznych. W obu przypadkach mogą stać się niefunkcjonalne. Nie są zdolne do samonaprawy lub samoregeneracji, ponieważ nie posiadają żadnych wewnętrznych mechanizmów, które mogłyby być za to odpowiedzialne (proszę sobie wyobrazić samonaprawiającą się cewkę). Zamiast tego zepsute elementy / części / podjednostki muszą albo zostać naprawione z zewnątrz, przez jakieś zewnętrzne urządzenia / mechanizmy, lub po prostu wymienione na odpowiednie części zapasowe (jest znacznie

łatwiej wymienić zdefektowany mikroprocesor lub zardzewiały drut, niż go naprawić lub „zregenerować”.

Ten problem staje się nawet bardziej dotkliwy w przypadku produkcji potomstwa. Sztuczny „ponad-molekularny” osobnik nie może się samorozwinać z relatywnie prostego „założka” wyprodukowanego przez osobniki rodzicielskie ponieważ, ponownie, nie istnieją tu (nie są do pomyślenia) żadne molekularne mechanizmy, które mogłyby być za to odpowiedzialne (proszę sobie wyobrazić samorozwijającego się robota lub komputer). Zamiast tego, potomne „dorosłe”, od razu w pełni „wyrośnięte” sztuczne osobniki musiałyby być konstruowane przez osobniki rodzicielskie, składane krok po kroku poprzez dodawanie kolejnych elementów / części / podjednostek, tak jak komputery / roboty są konstruowane przez ludzi (lub przez inne roboty / urządzenia / maszyny stworzone przez ludzi). Z podobnych przyczyn, sztuczne żywe osobniki nie byłyby zdolne do samoistnego wzrostu; w najlepszym przypadku mogłyby one być rozbudowywane poprzez dodawanie nowych części, lecz nie poprzez rozrost części już wchodzących w ich skład. Istnieje szereg innych implikacji ponad-molekularnej natury sztucznych osobników żywych. Na przykład, podczas gdy energia w postaci ATP produkowana jest w każdej komórce naturalnych żywych osobników, u osobników sztucznych musiałby prawdopodobnie istnieć jeden (lub kilka) centralny generator energii (na przykład w postaci elektryczności).

Wszystko to prowadzi do naczelnego problemu — czy w ogóle jest możliwe zaistnienie, nawet w zasadzie, sztucznego osobnika żywego jako jednej strukturalnie zintegrowanej całości. Podczas gdy każdy naturalny osobnik, a w dużym zakresie każda jego komórka bez problemu realizuje swoje „funkcje życiowe”, skrajnie trudno byłoby sobie wyobrazić sztucznego osobnika, coś w rodzaju robota, który potrafiłby jednocześnie wyszukiwać, pobrać i odpowiednio przetworzyć swoje substancje budulcowe, produkować odpowiednie elementy / części / podjednostki, złożyć je w odpowiedni sposób podczas produkcji potomstwa, wykryć uszkodzenia w swoim ciele i naprawić lub wymienić zepsute elementy, produkować energię w jakiejś ogólnodostępnej formie (np. elektryczności), utrzymywać wewnętrzną homeostazę, reagować odpowiednio na sygnały / zaburzenia z otoczenia, realizować rozmaite funkcje poznawcze i tak dalej. Wydaje się, że taki strukturalnie zintegrowany sztuczny żywy osobnik musiałby być chimera różnych kopalni, hut, fabryk chemicznych, elektrowni, kombinacją wielu różnych rodzajów robotów realizujących rozmaite zadania, urządzeniem poznawczym, centrum przetwarzania informacji (czymś w rodzaju wszechstronnego komputera), układem odpowiednich silników, i tak dalej, i tak dalej. Wydaje się oczywiste, że taki twór byłby całkowicie нефunkcjonalny, a właściwie nawet niemożliwy do pomyślenia. Warto sobie uświadomić, że wspomniane zadania są realizowane w obrębie ludzkiej cywilizacji technicznej przez setki i tysiące rozmaitych urządzeń / jednostek / fabryk itd., które z reguły są od siebie odseparowane w przestrzeni, a i tak całość musi być nadzorowana przez ludzi. Czy to oznacza, że sztuczne „ponad-molekularne” osobniki (a zatem sztuczne życie) w ogóle nie mogą istnieć?

Moim zdaniem odpowiedź na to pytanie jest negatywna, a rozwiązaniem omawianego problemu jest coś, co nazywam rozproszonym sztucznym żywym osobnikiem. Osobnik rozproszony to taki, którego poszczególne podjednostki („podosobniki”) są zintegrowane funkcjonalnie (w tym, oczywiście, cybernetycznie, poprzez sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych), ale nie strukturalnie. Pewne wyobrażenie o tym, jak taki rozproszony sztuczny osobnik mógłby wyglądać daje wspomniana przed chwilą ludzka techniczna cywilizacja (oczywiście pozbawiona ludzi jako nadzorców). Uważam, że sztuczne życie nie oparte na molekularnych maszynach musiałoby posiadać podobny (chodzi o rząd wielkości) stopień złożoności. Oczywiście sztuczny osobnik żywy złożony z setek oddzielnych kopalń, fabryk, robotów, komputerów itd. wydaje się skrajnie wręcz monstrualny, ale wszystko wskazuje na to, że innego wyjścia nie ma, jeśli miałby on być samowystarczalny w przeżyciu i reprodukcji na jakiejś odległej planecie.

Rozproszone osobniki nie są tworamami wziętymi zupełnie z sufitu. Znamy je dobrze w obrębie naszego naturalnego ziemskiego życia. Chodzi oczywiście o kolonie owadów społecznych — mrówek, termitów, pszczół i os (oraz gołców — afrykańskich gryzoni żyjących pod ziemią). Tutaj także cały osobnik cybernetyczny (kolonia) podzielony jest na podjednostki — poszczególne owady — które są zintegrowane jedynie funkcjonalnie (w tym: cybernetycznie), ale nie strukturalnie. Owady należące do różnych kast (królowa i płodne samce, różnej wielkości sterylne robotnicy i żołnierze) wyspecjalizowane są w pełnieniu rozmaitych funkcji (rozdród, zbieranie pożywienia, opieka nad potomstwem, ochrona gniazda itd.). Odpowiadają one różnym typom komórek u organizmów wielokomórkowych, przede wszystkim zaś komórkom rozrodczym oraz somatycznym (w tym nabłonkowym, mięśniowym, nerwowym itp.). Występuje pomiędzy nimi bogata sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych obejmująca np. utrzymywanie stałej wilgotności i temperatury w gnieździe, regulację liczebności poszczególnych kast, wymianę pokarmu, współpracę w polowaniu i budowie

gniazda itd.. O ile jednak osobniki organizmów wielokomórkowych zintegrowane są zarówno strukturalnie, jak i funkcjonalnie, to rozproszone osobniki owadów społecznych charakteryzuje jedynie funkcjonalna integracja.

A zatem osobniki rozproszone są wśród nas. To jednak, co w przypadku naturalnego ziemskiego „molekularnego” życia stanowi interesujący wyjątek, w przypadku sztucznych „ponad-molekularnych” osobników żywych wydaje się bezwzględna koniecznością.

Podobna tematyka na: [Wywiad z autorem w RMF FM](#)

Przypisy:

- [1]** 1. B. Korzeniewski. Cybernetic formulation of the definition of life. Journal of Theoretical Biology 209 (2001) 275-286.
2. B. Korzeniewski. Confrontation of the cybernetic definition of a living individual with the real world. Acta Biotheoretica 53 (2005) 1-28.
3. B. Korzeniewski. Trzy ewolucje. Ewolucja Wszechświata, Ewolucja życia, Ewolucja świadomości. Korona (1998) Kraków.
- [2]** 1. C. Adami. Introduction to artificial life. Springer/Telos (1998) New York.
2. H. Lipson i J.B. Pollack Automatic design and manufacture of robotic life forms. Nature 406 (2000) 974-978.
3. O. Miglino, H.H. Lund i S. Nolfi. Evolving mobile robots in simulated and real environments. Artificial Life 2 (1995) 417-434.
4. R.A. Brooks. Artificial life and real robots. W: Towards a practice of autonomous systems: Proceedings of the First European Conference on Artificial Life. str. 3-10. Wyd. Varela, F.J. & Bourgine, P. MIT Press (1992) Cambridge, MA.
- [3]** 1. J. von Neumann i A.W. Burks. Theory of self-reproducing automata. University of Illinois Press (1966) Urbana.
2. R.A. Freitas i R.C. Merkle. Kinematic Self-Replicating Machines. Landes Bioscience (2004) Georgetown, TX.
3. K.E. Drexler. Engines of creation. Oxford University Press (1990) Oxford, UK.

Bernard Korzeniewski

Biolog, doktor habilitowany, pracownik naukowy Uniwersytetu Jagiellońskiego (Instytut Biologii Molekularnej i Biotechnologii). Twórca cybernetycznej definicji życia, łączącej paradygmaty biologii, cybernetyki i teorii informacji ("Trzy ewolucje", 1998; "Journal of Theoretical Biology", 2001; rec. "New Scientist"). Zajmuje się biologią teoretyczną - m.in. komputerowym modelowaniem oddychania w mitochondriach. Jest kierownikiem kilku grantów naukowych, laureatem Nagrody Prezesa Rady Ministrów za habilitację oraz stypendystą uniwersytetów w Cambridge, Bordeaux, Halle oraz Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej. Autor książek: "Absolut - odniesienie urojone" (Kraków 1994); "Powstanie i ewolucja życia" (Rzeszów 1996); "Trzy ewolucje: Wszechświata, życia, świadomości" (Kraków 1998); "Od neuronu do (samo)świadomości" (2005).



[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 12-10-2009)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6854) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6854>)

Contents Copyright © 2000-2009 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2009 Michał Przech

Autorem portalu Racjonalista.pl jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Racjonalista.pl

Strona 5 z 6

Właścicielami portalu są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tego portalu i jakiegokolwiek jego części.

Wszystkie strony tego portalu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tego portalu oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tego portalu i nie korzystać z jego zasobów.

Informacje zawarte na tym portalu przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów portalu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na portalu. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych portalu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl