

Cybernetyczne ujęcie ewolucji biologicznej

Autor tekstu: **Bernard Korzeniewski**

Z paradygmatów charakteryzacji zjawisk życia, ani paradygmat „klasyczno-biologiczny” (oparty na kryterium budowy i funkcji, rozmnażania i ewolucji), ani tym bardziej paradygmat termodynamiczny (traktujący życie jako wielce skomplikowaną strukturę dyssypatywną, rozpraszającą energię) nie dotarł, moim zdaniem, do samego sedna istoty fenomenu życia. Oznacza to, iż żaden z tych paradygmatów nie pozwala na jednoznaczne zdecydowanie zawsze i w każdych warunkach, czy rozpatrywany układ należy zaklasyfikować jako ożywiony (a przynajmniej na stworzenie jednoznacznego kryterium mogącego posłużyć do odgrózenia żywego od nieożywionego). Oba paradygmaty zostały opracowane dla jednego konkretnego przypadku życia, a mianowicie dla obecnego życia na Ziemi, które, generalnie rzecz biorąc, bardzo dobrze odróżnia się od przyrody nieożywionej. Jednakże, nawet niektóre obiekty na naszej planecie stwarzają poważne problemy co do zaklasyfikowania ich jako żywe osobniki. Znacznie poważniejsze problemy tego typu mogą się zrodzić podczas eksploracji obcych planet. Pewien przedsmak możliwej rozbieżności interpretacji daje ostatnie odkrycie rzekomych śladów życia na Marsie [1], a przecież mamy tu do czynienia nie z samym „życiem”, lecz jedynie możliwymi jego pozostałościami w postaci związków organicznych i pewnych skamieniałych struktur kształtem przypominających bakterie. Możemy więc w tym przypadku zasłaniać się niewiedzą i nią tłumaczyć nasze wahania co do statusu odnalezionych śladów. Wyobraźmy sobie jednak sytuację, kiedy dostajemy do ręki jakiś dziwny całkowicie nam obcy i niezrozumiały twór lub obiekt i mamy zaklasyfikować go jako istotę żywą lub martwy twór, i nagle okazuje się, że brakuje nam rozstrzygających kategorii lub punktów odniesienia, które moglibyśmy zapożyczyć od ziemskiego życia, a które pozwoliłyby nam podjąć jednoznaczną decyzję (problem ten doskonale zilustrował Stanisław Lem w takich powieściach jak *Solaris* lub *Niezwyrodniony*). Kryterium odróżniające życie od przyrody nieożywionej byłoby także bardzo przydatne przy rozważaniu powstania życia na naszej planecie. Miałoby ono kluczowe znaczenie dla odpowiedzi na pytanie, w którym momencie nastąpiło wyłonienie się życia z zawiesiny „martwych” związków organicznych oraz na czym polegało tego życia zaistnienie.

Chciałbym zaproponować cybernetyczny paradygmat charakteryzacji istoty życia, który moim zdaniem pozwala na istotny postęp w rozwiązaniu przedstawionego powyżej problemu, choć zapewne nie stanowi całkowicie idealnego i absolutnego kryterium „ożywienia” układu, bo kryterium takie jest przypuszczalnie niemożliwe. Po pierwsze, choć życia z pewnością nie da się wyczerpująco zdefiniować jako np. struktury dyssypatywnej związanej z produkcją entropii, to niewątpliwie życie **musi** być także, czymkolwiek innym by nie było, strukturą dyssypatywną. Termodynamika mówi nam zatem, że życia nie ma co szukać w układach bliskich równowagi termodynamicznej (np. w zimnym pyłe międzygwiazdowym lub Kosmosie o ujemnej krzywiznie przestrzeni za paręset miliardów lat) i faktu tego nie wolno nam w żadnym razie zaniedbać w pełnej charakterystyce zjawiska życia. Oprócz „jądra” istoty życia istotne są zatem warunki niezbędne dla zaistnienia tego jądra: odsunięcie układu od stanu równowagi termodynamicznej, obecność odpowiedniego typu związków chemicznych, a w szczególności organicznych związków węgla (nie do pomyślenia jest na przykład, poza powieściami *science-fiction*, życie w gazie, ze względu na brak substancji gazowych o wystarczającym bogactwie struktury cząsteczek) etc..

Po drugie, zjawisko życia jest pewną makroskopową kategorią, leżącą po stronie naszego umysłu, lecz niekoniecznie istniejącą „realnie” (cokolwiek by to miało znaczyć) w rzeczywistym świecie. Wobec tego także próba odkrycia jednoznacznego i absolutnego kryterium odróżniającego życie od materii nieożywionej może być w pewnej mierze niczym więcej, niż skłonnością ludzkiego umysłu do szufladkowania na dyskretne kategorie świata, będącego w swej istocie ciągłym spektrum fenomenów. Świadom tych zagrożeń i ograniczeń, postaram się jednakże podać cybernetyczną charakterystykę „minimalnego rdzenia semantycznego” odpowiadającego fenomenowi życia, która, moim zdaniem, najlepiej odzwierciedla to, co bylibyśmy skłonni z życiem utożsamić.

Cybernetyka jest nauką o regulacji, przede wszystkim o mechanizmach regulacyjnych w złożonych układach realizujących jakiś cel (układach „dążnościowych”, takich jak organizmy

żywe i wiele urządzeń budowanych przez człowieka), cokolwiek byśmy przez taki cel nie rozumieli. Podstawowe terminy, jakimi operuje cybernetyka, to **sprężenie zwrotne ujemne i sprężenie zwrotne dodatnie**. Sprężenie zwrotne ujemne stanowi fundamentalny mechanizm regulacyjny. Ma ono za zadanie utrzymanie wartości jakiegoś parametru (może być nim temperatura, szybkość reakcji, stężenie związku lub cokolwiek innego) na zadanym poziomie — jakiegokolwiek zaburzenia powodujące odchylenie wartości parametru od tej zadanej wartości w którąś stronę indukują działania prowadzące do zmiany wartości parametru w stronę **przeciwną** (stąd nazwa „ujemne”), a więc do niwelacji (kompensacji) efektu tego odchylenia. Sprężenie zwrotne dodatnie, przeciwnie, dąży do zmiany wartości parametru w kierunku **zgodnym** (stąd - „dodatnie”) z kierunkiem, w którym nastąpiło odchylenie od „zadanej” wartości (którą często jest po prostu zero). Sprężenie to powoduje zatem coraz większy i większy wzrost (ewentualnie spadek) wartości danego parametru. O ile więc w sprężeniu zwrotnym ujemnym wartość parametru dąży do wartości zadanej, oscylując wokół niej, to w sprężeniu zwrotnym dodatnim wartość parametru tym szybciej ucieka od wartości „zadanej”, im dalej już się od niej znajduje.

[...]

Sprężenie zwrotne dodatnie ma miejsce w przypadku jądrowej reakcji łańcuchowej oraz rozmnażania się kolonii bakterii. Każdy wolny neutron lub bakteria zdolne są do wytwarzania nowych neutronów (bakterii). Im więcej neutronów (bakterii) jest w danej chwili, tym szybsza jest produkcja nowych wolnych neutronów (bakterii) — pochodzi to stąd, że każdy pochłaniany przez jądro radioaktywnego izotopu uranu (U^{235}) neutron prowadzi do emisji trzech nowych neutronów, a każda komórka bakteryjna dzieli się na dwie komórki potomne. Zatem, po upływie czasu pomiędzy emisją neutronu a rozbięciem kolejnego jądra uranu (ewentualnie okresu podziału komórki bakterii) ilość neutronów (bakterii) ulega każdorazowo potrojeniu (podwojeniu). Mówiąc ogólnie, w sprężeniu zwrotnym dodatnim niezerowa wartość jakiegoś parametru powoduje wzrost samej siebie, i to tym szybszy, im większa jest ta wartość w danej chwili. Innym przykładem omawianego rodzaju sprężenia zwrotnego jest reakcja autokatalityczna, w której cząsteczka związku chemicznego katalizuje syntezę cząstek identycznych do samej siebie, albo lawina kamienna, kiedy jeden potracony kamień na zboczu wprawia w ruch następne, tak że bardzo szybko ogromna masa kamieni schodzi w dół zbocza. Często też proces będący skutkiem sprężenia zwrotnego dodatniego określamy mianem reakcji lawinowej.

Wróćmy jednakże do sprężenia zwrotnego ujemnego. Jest ono podstawowym mechanizmem regulacyjnym u takich układów dążnościowych (realizujących jakiś cel), jak organizmy żywe lub wiele urządzeń budowanych przez człowieka. W przypadku wytworów człowieka sprężenie zwrotne ujemne może się wyrażać w korygowaniu odchylenia od zadanego toru lotu rakiety, utrzymywanie stałego ciśnienia w kotle parowym, optymalizacji zadań wykonywanych przez pewne typy robotów lub też w działaniu termostatu. Naturalną koleją rzeczy będą nas jednak teraz interesować mechanizmy regulacyjne mające postać sprężenia zwrotnego ujemnego, występujące u organizmów żywych.

Typowe przykłady sprężenia zwrotnego u organizmów żywych można znaleźć na przykład na poziomie biochemicznym. Występuje ono między innymi w przypadku metabolicznych szlaków syntezy wielu aminokwasów [...]

Innym przykładem sprężenia zwrotnego ujemnego na poziomie biochemicznym jest regulacja szybkości produkcji energii w odpowiedzi na zmieniające się w czasie zapotrzebowanie na energię (jej zużycie w rozmaitych procesach wewnątrz komórki, takich jak synteza białek, transport jonów przez błonę komórkową czy też wzajemne przesuwanie się wobec siebie filamentów aktyny i miozyny w trakcie kurczu mięśnia). Uniwersalnym „nośnikiem” energii jest tam związek chemiczny zwany ATP, syntetyzowany (u zwierząt) głównie w organellach komórkowych zwanych mitochondriami w procesie fosforylacji oksydatywnej. Ulega on syntezie z innego związku, ADP. W trakcie wykonywania tych różnych rodzajów pracy (synteza białka, skurcz mięśni, ruch witki) ATP „oddaje” swoją energię, przekształcając się w ADP, które przekazywane jest do mitochondriów, gdzie ponownie służy jako substrat do syntezy ATP. Szybkość zużywania ATP przez komórkę zmienia się — w czasie spoczynku jest ona relatywnie mała, zaś podczas, na przykład, skurczu mięśnia - duża. Zachodzi konieczność dostosowania szybkości produkcji ATP do szybkości jego zużycia — mitochondria muszą w jakiś sposób „wiedzieć”, z jaką prędkością mają dostarczać ten związek (inaczej cały ATP szybko zostałby wyczerpany, albo też nagromadziłby się w stężeniach śmiertelnych dla komórki). Rolę sygnału informującego te organelle o aktualnym

zapotrzebowaniu energetycznym komórki spełnia stężenie ADP. Przy zwiększonej pracy ATP jest szybciej przekształcane w ADP, a zatem stężenie tego ostatniego związku rośnie. Prowadzi to do „aktywacji” mitochondriów (mówiąc ściślej, odpowiednich enzymów mitochondrialnych biorących udział w produkcji energii) i intensywniejszej syntezy ATP, co powoduje wzrost jego stężenia, podczas gdy stężenie ADP maleje. Skutkiem tego mechanizmu jest częściowa przynajmniej kompensacja zmian w stężeniu ATP i ADP w okresach zwiększonego zapotrzebowania na energię oraz zapewnienie stałego dopływu ATP z odpowiednią szybkością.

[2]

Oba przedstawione powyżej przykłady regulacji na poziomie biochemicznym dotyczyły modyfikacji aktywności enzymów już obecnych w komórce. Często odpowiednie białka enzymatyczne są jednak syntetyzowane dopiero wtedy, kiedy są one potrzebne. Zapobiega to niepotrzebnemu ekspensowi energii i aminokwasów na wytwarzanie enzymów, które w danym momencie „nie mają nic do roboty”. Mechanizm taki ma miejsce np. u bakterii w przypadku enzymów katalizujących szlak rozkładu cukru laktozy. Synteza tych enzymów następuje jedynie w przypadku obecności laktozy w otoczeniu. Cukier ten odblokowuje ekspresję genów kodujących wspomniane enzymy, a zatem regulacja odbywa się na poziomie genetycznym (szczegóły mechanizmu tej regulacji opisuje słynna teoria operonu). Tutaj, w zależności od sytuacji, regulacja ma na celu optymalizację dwóch różnych parametrów. W obecności laktozy dominuje sprzężenie zwrotne ujemne „dbające” o zapewnienie dostatecznej ilości budulca oraz substratu oddechowego dla produkcji energii (rolę obu spełnia między innymi laktoza). Przy braku tego cukru, powyższy cel musi oczywiście być realizowany w inny sposób (poprzez przyswajanie innych związków z otoczenia). Wtedy do głosu dochodzi konieczność zahamowania niepotrzebnego zużycia energii i budulca w postaci aminokwasów na syntezę białek enzymatycznych. Wszystko to odbywa się w ramach nadrzędnego celu, polegającego na zapewnieniu komórce bakteryjnej jak największego dopływu energii i budulca, pozwalających na możliwie szybki wzrost i dzielenie się (inaczej można go określić jako utrzymywanie stałego stężenia substancji odżywczych w komórce podczas maksymalnej szybkości wzrostu i podziałów). Ten cel nadrzędny wyznacza dwie różne „zadane” wartości stężenia enzymów należących do szlaku rozkładu laktozy: stężenie zerowe przy braku tego cukru oraz stężenie zapewniające optymalną szybkość degradacji laktozy — w jej obecności. Zadana wartość parametru jest więc tutaj warunkowa — zależy od okoliczności.

Skoro już jesteśmy przy omawianiu mechanizmów regulacyjnych u bakterii, warto wspomnieć o substancjach zwanych **alarmonami**. Alarmony pojawiają się w momencie braku w komórce jakiejś klasy związków organicznych. Na przykład, ppGpp jest sygnałem głodu aminokwasowego, natomiast cAMP występuje w przypadku głodu węglowego (brak cukrów). Alarmony stymulują syntezę rozmaitych enzymów uczestniczących w produkcji typu związków organicznych, którego akurat brakuje. Ich znaczenie jako sygnału sterującego w sprzężeniach zwrotnych ujemnych mających za zadanie utrzymanie dostatecznie dużego stężenia rozmaitych związków jest chyba oczywiste. Innym mechanizmem regulacyjnym działającym w przypadku braku substancji odżywczych jest wytwarzanie rzęsek, służących komórkom bakteryjnym do lokomocji. Rzęski pozwalają na aktywne poszukiwanie związków organicznych w otoczeniu i przez to także są elementem pętli sterowania zmierzającej do utrzymania stałego stężenia substancji budulcowych i energetycznych w komórce.

Częstość podziałów u bakterii stanowi prostą pochodną szybkości wzrostu (podwajania masy) komórek bakteryjnych. Jednakże moment, w którym bakteria ulega podziałowi, czyli krytyczna wielkość komórki, której przekroczenie stanowi sygnał do podziału, określany jest najprawdopodobniej proporcją ilości cytoplazmy do ilości DNA w nukleoidzie (czyli nagiej, kolistej, zwiniętej w kłębek nici DNA u organizmów bezjądrowych — *Prokaryota*). W momencie podziału ilość DNA ulega podwojeniu, natomiast ilość cytoplazmy nie zmienia się, a zatem stosunek cytoplazmy do DNA spada dwukrotnie, by potem stopniowo zwiększać się podczas wzrostu komórek potomnych aż do następnego podziału. W tym sprzężeniu zwrotnym ujemnym stosunek cytoplazma/DNA utrzymywany jest w pewnych określonych granicach (jego wartość zmienia się jedynie dwukrotnie). Ma to o tyle znaczenie, że przy nadmiarze cytoplazmy DNA nie „nadażałoby” z syntezą zbyt wielkiej ilości białek, natomiast przy zbyt małej ilości cytoplazmy nie byłaby ona w stanie wyprodukować dostatecznej ilości energii i budulca, potrzebnych do duplikacji (podwajania ilości) DNA przy podziale komórki. Pamiętajmy iż cała cytoplazma to w pewnym sensie jedynie nośnik, *vehiculum* dla informacji genetycznej zapisanej w DNA, służący do rozprzestrzeniania tej informacji (ale z drugiej strony, ta

informacja to nic innego, jak opis struktury i funkcji całej komórki, czyli przede wszystkim cytoplazmy — do tego „błędnego koła” tak charakterystycznego dla istoty życia niejednokrotnie jeszcze powrócę).

U bakterii cała sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, stanowiąca o funkcjonalnej istocie tych organizmów (jako układów posiadających „celowe” mechanizmy regulujące), realizowana jest przede wszystkim na poziomie biochemicznym i genetycznym. „Zapis” schematu owej sieci znajduje się w nici DNA, przy czym w interpretacji tego zapisu uczestniczy cały zespół enzymów (z syntetazą aminoacylo-tRNA na czele) przekładających (kluczem jest tu kod genetyczny) „dyrektywy” wyrażone sekwencją nukleotydów w DNA na sekwencję aminokwasów w białkach, determinującą strukturę i funkcję tych ostatnich.

Skąd zapis ten „wie”, jakie białka i w jakiej kolejności czasowej należy produkować, aby optymalnie spełniać funkcję przeżycia i powielania samego siebie? Informacja genetyczna jest „ślepa” - w żaden sposób nie „widzi” świata fizycznego, ani rządzących nim reguł. Zapisany w niej plan sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych powstał w procesie ewolucji metodą prób i błędów. Tylko te, przypadkowo powstałe, pętle sprzężenia zwrotnego ujemnego zostały utrwalone w DNA (jako zapis struktury białek oraz wzorca ekspresji genów, określającego czas i intensywność syntezy rozmaitych białek), które okazały się korzystne dla przeżycia, możliwie szybkiego wzrostu i rozmnażania, pozostałe zaś uległy wymazaniu. Sytuacja ta przypomina nieco ślepego, który nie widzi pokoju, ale nauczył się poruszać w nim po omacku. Tak jak „obraz” pokoju znalazł pewne odzwierciedlenie w zespole reguł, jakim kieruje się ślepiec przy przemieszczaniu z miejsca na miejsce, tak system sprzężeń zwrotnych ujemnych zapisany w genomie każdego organizmu stanowi „odbicie” świata zewnętrznego, w którym ten organizm żyje. Odbicie to dotyczy jednak głównie aspektów świata mających istotne znaczenie dla przeżycia. Ograniczeniu powyższemu podlega także szczytowy wytwór ewolucji odtwarzający obraz świata, czyli ludzki mózg „podłączony” do całego zespołu narządów zmysłów.

Czas wrócić do sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych i przyjrzeć się paru ich przykładom u organizmów wyższych. U organizmów wielokomórkowych pojawiają się wyższe poziomy hierarchii w budowie i funkcji: poziom tkankowy, poziom narządów, poziom układów narządów, wreszcie — poziom całego organizmu wielokomórkowego. Każdy z tych poziomów posiada swoje systemy sprzężeń zwrotnych ujemnych, przy czym są one również uorganizowane hierarchicznie — sprzężenia zwrotne ujemne na niższym poziomie „pracują” na rzecz realizacji sprzężeń na wyższym poziomie.

Weźmy poziom cukru (glukozy) we krwi. Steruje nim zespół dwóch antagonistycznych hormonów, z których insulina obniża ten poziom, natomiast glukagon go podwyższa. Odbywa się to na zasadzie depozycji (odkładania) glukozy w rozmaitych tkankach w postaci glikogenu lub (po przekształceniu) tłuszczów, albo też — przeciwnie — na uwalnianiu glukozy z tkanek do krwi. Mniej więcej stały poziom cukru we krwi istotny jest dlatego, że zbytne obniżenie tego poziomu doprowadziłoby do uszkodzenia (lub wręcz obumarcia) tych tkanek, które, jak mózg, używają glukozy jako jedyne źródła energii, natomiast zbyt duża ilość cukru prowadzi do śpiączki cukrzycowej. Gruczoły produkujące wspomniane hormony posiadają umiejętność detekcji poziomu cukru we krwi i adekwatnego reagowania podwyższeniem lub obniżeniem produkcji hormonu. Uczestnictwo aż dwóch sygnałów sterujących (hormonów) działających antagonistycznie zapewnia bardziej precyzyjną i dostosowaną do warunków regulację, niż miałyby to miejsce w przypadku jednego tylko sygnału.

Poziom cukru we krwi podlega rozmaitym wahaniom, ponieważ rozmaite tkanki zużywają go ze zmienną w czasie intensywnością. Poza tym, po posiłku jest go istotnie więcej, niż po okresowym głodowaniu. Równowaga procesów uwalniania i depozycji glukozy (a także tłuszczów) w tkankach zapasowych musi zostać dostosowana do bieżących potrzeb. To jednakże nie wystarcza. Jasne jest, że zapasy substancji odżywczych w ciele zwierzęcia nie są nieograniczone i po dłuższym okresie głodowania zaczynają się wyczerpywać.

Zachodzi zatem potrzeba ich uzupełnienia, czyli po prostu pobrania pokarmu z zewnątrz. Obniżony poziom glukozy we krwi pobudza zatem ośrodek głodu w mózgu znajdujący się w podwzgórzu. Zmienia to stan aktywności całego zwierzęcia, które zamiast błogo odpoczywać po sutym posiłku, podnosi swój stan aktywności, podejmując intensywne czynności zmierzające do zdobycia pożywienia. W momencie osiągnięcia sukcesu i zaspokojenia głodu, aktywność zwierzęcia ponownie ulega obniżeniu. To kolejne sprzężenie zwrotne ujemne działa na poziomie całego zwierzęcia.

Wróćmy jednak do insuliny i glukagonu. Ich produkcja i uwalnianie uzależnione jest od realizacji innych sprzężeń zwrotnych ujemnych, występujących na niższych poziomach —

genetycznym i biochemicznym. Przede wszystkim, oba hormony są białkami, a więc ich wzmożona synteza wymaga aktywacji odpowiednich genów, czyli regulacji genetycznej. Po drugie, synteza białek związana jest ze zużyciem energii, a zatem rozkładem ATP do ADP. Konieczne staje się zatem zwiększenie szybkości produkcji ATP przez mitochondria. Odpowiada za to sprzężenie zwrotne ujemne opisane parą akapitów wcześniej. Widzimy zatem, że sprzężenia zwrotne ujemne na różnych poziomach hierarchii są wzajemnie ze sobą powiązane. Wzajemne relacje w sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych u żywych organizmów są niezmiernie bogate i skomplikowane. Powyżej przytoczyłem jedynie kilka prostych przykładów. Należy sobie jednak uzmysłowić, że każde z takich sprzężeń zależy bezpośrednio od dziesiątków i setek innych stężeń. Np. aktywne poszukiwanie pokarmu wymaga precyzyjnej koordynacji ruchów, a to z kolei odpowiedniej regulacji napięcia poszczególnych mięśni, bardzo szybko zresztą zmieniającego się w czasie. Konieczne jest także bieżące korygowanie trajektorii, jaką porusza się zwierzę (np. drapieżne), na podstawie dopływających sygnałów z narządów zmysłów (np. widoku ofiary). W wielu wypadkach trudno jest nawet w prosty sposób zdefiniować, co właściwie stanowi parametr, którego „wartość” ma być optymalizowana. Parametr taki stanowi niejednokrotnie jakość o wiele bardziej złożoną, niż np. temperatura, a jego wartość zadana może zmieniać się w czasie jako odpowiedź na zmianę potrzeb określonych przez wartości innych parametrów. Wszystko to jednak w nieznacznym tylko stopniu osłabia heurystyczną siłę drzemiącą w paradygmacie cybernetycznym. Staram się pokazać, jak bardzo zastosowanie tego paradygmatu pozwala na lepsze zrozumienie istoty organizmów żywych.

Podsumowując, istota funkcjonowania organizmów żywych polega na tym, że wszystkie sprzężenia zwrotne ujemne (mechanizmy optymalizujące wartość parametru) są w zasadzie powiązane, bezpośrednio lub pośrednio, ze wszystkimi innymi. Każde z nich jest bowiem istotne dla przetrwania całego organizmu, a więc stwarza niezbędne „środowisko” dla innych sprzężeń. Dla każdego z dwóch sprzężeń zwrotnych ujemnych da się wyśledzić „błędne koło”, w którym jedno ze sprzężeń warunkuje istnienie drugiego i na odwrót. Rozpatrzmy przykład dwóch, omawianych wcześniej, sprzężeń: 1. obniżenie poziomu glukozy we krwi — pobudzenie ośrodka głodu w mózgu poszukiwanie i pobranie pożywienia — powrót poziomu cukru we krwi do poprzedniej wartości; oraz: 2. zwiększenie zużycia ATP i spadek jego stężenia - wzrost stężenia ADP — stymulacja produkcji ATP przez mitochondria wzrost stężenia ATP.

Pierwsze sprzężenie zwrotne ujemne zapewnia dostateczną ilość glukozy, będącej między innymi substratem do produkcji energii (ATP). Drugie sprzężenie zwrotne ujemne zapewnia produkcję dostatecznej ilości ATP, aby umożliwić transport jonów sodu (Na^+) i potasu (K^+) w poprzek błony komórkowej wypustek komórek nerwowych (dendrytów i aksonów), a zatem przewodzenie impulsów nerwowych leżące u podstawy aktywnego pozyskiwania pokarmu. Oba sprzężenia zwrotne ujemne nie tylko nie mogą się obyć jedno bez drugiego (i bez całej masy innych sprzężeń), ale też nadają sobie wzajemnie **sens** (znowu — w połączeniu ze wszystkimi innymi sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi obecnymi w organizmie). Stwierdzenie to jest prawdziwe w odniesieniu do dowolnej rozpatrywanej pary sprzężeń. Owo współwarunkowanie się sprzężeń zwrotnych ujemnych, zrelatywizowanie swojego „znaczenia” (celowości) w stosunku do innych sprzężeń stanowi niezmiernie głęboką cechę organizmów żywych. Cechę tę odnajdziemy także w sieci pojęciowej, stanowiącej „substancję” naszej psychiki i świadomości. Będzie to jeden z przyczynków do tezy, że poziom psychiczny na podobnej zasadzie wyłonił się z poziomu biologicznego, jak poziom biologiczny — z poziomu fizycznego. [3]

Generalnie rzecz biorąc, najbardziej ogólny schemat funkcjonowania organizmów żywych można przedstawić formalnie **wyłącznie** w postaci sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych, abstrahując od sposobu ich materialnej realizacji (od budulca poszczególnych elementów, fizycznego podłoża różnych procesów czy też szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych). Dodatkowo, ów system sprzężeń zwrotnych ujemnych, stanowiący podstawę (celowego) funkcjonowania organizmów żywych, uorganizowany jest na sposób hierarchiczny. Regulacja na niższym poziomie hierarchii służy z reguły jako element regulacji na wyższym poziomie (choć często bywa na odwrót, jak w dyskutowanym „błędnym kole” regulacji poziomu glukozy i ATP). System sprzężeń zwrotnych ujemnych stanowi jedną, wewnątrznie powiązaną i współwarunkującą się całość. Powstaje jednakże pytanie, co właściwie stanowi **nadrzędny cel** tych **wszystkich** mechanizmów regulacyjnych, czemu służy **cały** posiadany przez osobniki żywe system sprzężeń zwrotnych ujemnych? Chodzi tu o przeżycie i pozostawienie potomstwa, czyli o utrzymanie i propagację w czasie własnej **tożsamości**, która w ujęciu cybernetycznym

odpowiada właśnie **takiemu, a nie innemu systemowi sprzężeń zwrotnych ujemnych**. „Parametrem”, którego „wartość” ulega optymalizacji przez całą sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych składającą się na żywego osobnika jest więc tożsamość (zespół cech) tego osobnika, jej przetrwanie w czasie oraz rozprzestrzenianie. System sprzężeń zwrotnych ujemnych tworzących dany organizm ulega wobec tego **samonakierowaniu** na samego siebie, jego jedyny „cel” stanowi własne powielanie (namnażanie). Jednakże, jak pokazałem na przykładzie bakterii (dotyczy to dowolnych innych organizmów żywych), rozmnażanie się organizmów stanowi sztandarowy przykład sprzężenia zwrotnego dodatniego, w którym niezerowa wartość parametru (w tym wypadku — ilość osobników) ma tendencję do tym szybszego wzrostu, im większa jest ta wartość w danym momencie.

Nadszedł więc wreszcie moment, aby zdefiniować życie w kategoriach cybernetycznych jako **system sprzężeń zwrotnych ujemnych podrzędny w stosunku do (pozostający na usługach) nadrzędnego sprzężenia zwrotnego dodatniego**. Uzupełniającym kryterium jest warunek, żeby wszystkie podjednostki i sprzężenia zwrotne ujemne wchodzące w skład rozważanego systemu miały „na celu” **wyłącznie** realizację naczelnego sprzężenia zwrotnego dodatniego. [4] Twierdzę, iż wszystkie systemy żywe muszą podlegać powyższej definicji, a wszystkie systemy jej podlegające należy uznać za żywe (lub, jeśli kto woli, należące do klasy systemów „życio-podobnych”). Słowem, że zaproponowana definicja, odpowiadająca samej „nagiej” istocie życia, stanowi **najmniejszy konieczny i zarazem dostateczny system pojęciowy, wystarczający do jednoznacznego określenia, czym jest życie**. Może być zatem użyta do możliwie jednoznacznego określenia, które obiekty i procesy na innych planetach można uznać za ożywione, od którego momentu możemy mówić o życiu w procesie jego spontanicznej genezy na Ziemi około 4 miliardy lat temu, a także — co stanowi żywego osobnika pośród problematycznych fenomenów znanych nam obecnie na naszej planecie.

Różne cele realizowane przez każdy z organizmów żywych można podzielić na **cele podrzędne**, wyrażone siecią regulacyjnych sprzężeń zwrotnych ujemnych, oraz **cel nadrzędny**, manifestujący się istnieniem sprzężenia zwrotnego dodatniego.

Skąd bierze się owo nadrzędne sprzężenie zwrotne dodatnie, widzieliśmy na przykładzie bakterii. Systemy żywe mają naturalną tendencję do reprodukcji i powielania swoich kopii, o ile pozwalają na to dostępne zasoby środowiskowe. Ciągi opisujące ilość osobników w kolejnych interwałach czasowych (przy braku ograniczonej pojemności środowiska), dotyczące dowolnych organizmów i strategii rozrodu, rosną wykładniczo i zmierzają do nieskończoności. Obliczono, że gdyby nie ograniczona ilość pokarmu oraz zatrucie środowiska własnymi produktami przemiany materii, w dość krótkim czasie potomstwo jednej bakterii byłoby ogromną kulą rozszerzającą się z szybkością światła. To samo dotyczy potomstwa pary leniwców (na omawiany efekt przyszłoby może poczekać nieco dłużej), choć praktyki seksualne tych zwierząt raczej się z szybkością światła nie kojarzą.

W rzeczywistości, jak zostało to podkreślone wcześniej, pojemność środowiska jest oczywiście zawsze ograniczona. Dotyczy to także innych przytoczonych przypadków sprzężenia zwrotnego dodatniego, np. „środowiska” kamiennej lawiny (zbocze usiane kamieniami) czy nuklearnej reakcji łańcuchowej (kula radioaktywnego izotopu uranu). W tych przypadkach reakcja lawinowa w końcu wygasa ze względu na wyczerpanie się zasobów środowiska (odpowiednio: niestabilnych kamieni na zboczu i jąder radioaktywnego izotopu uranu). Życie natomiast, nawet jeśli w danej chwili wyczerpie pojemność swego środowiska, dalej zachowuje potencjał do gwałtownej reakcji lawinowej, czego dowody napotykamy na każdym kroku. Ów **potencjał ekspansji** przejawia się nie tylko w przypadku opanowania przez jakieś organizmy nowego terenu, na którym nie napotykają one konkurencji ze strony innych organizmów, lub konkurencja taka jest słaba (np. lawinowy wzrost populacji sprowadzonych do Australii królików). Tego rodzaju spektakularne zajścia zdarzają się stosunkowo bardzo rzadko. „Na codzień”, potencjał ekspansji danych organizmów (będących nośnikami określonej tożsamości) wyraża się silną presją na wyparcie z ograniczonej pojemności środowiska innych organizmów (o odmiennej tożsamości; mogą być to osobniki tego samego lub też bardzo odległe spokrewnionych gatunków). Z reguły, w stabilnych ekosystemach, te inne organizmy wywierają taką samą, o podobnej sile, lecz przeciwnie skierowaną presję na wyparcie ze środowiska rozważanych przez nas organizmów. *De facto*, rywalizują pomiędzy sobą tożsamości poszczególnych osobników (określone jako zespoły cech lub systemy sprzężeń zwrotnych ujemnych), dążące do opanowania całej pojemności środowiska kosztem innych tożsamości.

Drobne różnice w sile presji wywieranej przez poszczególne tożsamości prowadzą do

stopniowego wypierania jednych tożsamości przez inne, a więc do ewolucji.

Należy wyraźnie jeszcze raz podkreślić, że tożsamość osobników żywych, będąca „parametrem”, którego „optymalizacji” (utrzymaniu i propagacji) służy składający się na żywego osobnika system sprzężeń zwrotnych ujemnych, to coś o wiele bardziej złożonego, niż prosty, elementarny parametr, jakim jest na przykład temperatura. Zawiera ona w sobie nie tylko chwilowe cechy osobnika dorosłego, ale cały cykl życiowy danego organizmu od zygoty do stadium dorosłego, w tym także zdolność do produkcji potomstwa. U organizmów rozmnażających się płciowo tożsamość potomka stanowi „wypadkową” lub „kombinację” tożsamości (zespołów cech) swoich rodziców (rekombinacja cech). Nawet jednak u organizmów o bezpłciowym sposobie rozmnażania tożsamość ulega zmianom w czasie na skutek mutacji. Nie tyle chodzi tu zatem, jak to dyskutowałem wcześniej, o zachowanie danej konkretnej tożsamości, lecz **ciągłości zmian** tej **tożsamości** w czasie. Parametr zwany tożsamością jest zatem niewątpliwie parametrem złożonym - odpowiednie jego zrozumienie ma decydujący wpływ na zrozumienie istoty życia.

W zasadzie każdą cechę osobnika, np. wzór jego ubarwienia, można uznać za element lub wynik sprzężenia zwrotnego ujemnego. W tym ostatnim przypadku, w rozmaitych miejscach na powierzchni jego ciała „zadane” są rozmaite stężenia rozmaitych barwników. To, czy zadany wzór ubarwienia jest „dobry”, a więc czy np. dobrze maskuje przez drapieżnikiem, współdecyduje o skuteczności danego systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych, a więc tożsamości.

Jak wspomniałem, tożsamości rywalizują ze sobą o pojemność środowiska i lepsze tożsamości wypierają gorsze. [...]

W przeciwieństwie do organizmów żywych, martwe systemy „wyposażone” w sprzężenie zwrotne dodatnie, takie jak kamienna lawina czy grudka radioaktywnego izotopu, nie posiadają żadnych sprzężeń zwrotnych ujemnych, podtrzymujących ich potencjał ekspansji. Po stoczeniu się wszystkich kamieni po zboczu kamienna lawina definitywnie zamiera, a po rozbiciu wszystkich jąder radioaktywnego pierwiastka nie produkowane są żadne dalsze neutrony. Ani zatem kamienie w ruchu, ani neutrony nie dysponują żadnymi mechanizmami zorientowanymi w sposób celowy na zapewnienie im przetrwania i produkcji „układów” potomnych (kamieni w ruchu lub wolnych neutronów). O ile zatem zarówno organizmy żywe jak i niektóre obiekty fizyczne (takie jak kamienie na zboczu lub neutrony w grudce radioaktywnego izotopu uranu) mają pewien „cel nadrzędny” w postaci (przynajmniej potencjalnej) zdolności do ekspansji, to tylko te pierwsze posiadają „cel podrzędny” w postaci sieci mechanizmów regulacyjnych opartych na sprzężeniu zwrotnym ujemnym, odpowiedzialnych za utrzymanie indywidualności (tożsamości) organizmów żywych i ich potencjału ekspansji.

W taki „cel podrzędny” (system sprzężeń zwrotnych ujemnych) wyposażonych jest wiele urządzeń skonstruowanych przez człowieka (jak roboty lub chociażby omawiany wyżej termostat). Nie posiadają one jednak (w kategoriach cybernetycznych) żadnego „celu nadrzędnego”, a jeżeli już, to jest nim cel posługujących się nimi ludzi. Urządzenia nie dbają bowiem tylko o siebie, swoje własne przetrwanie i wyprodukowanie identycznych urządzeń potomnych. Nie stanowią zatem całkowicie autonomicznych, nakierowanych wyłącznie na siebie układów (osobników), lecz są elementami jakiegoś nadrzędnego układu, którego cele (określone przez człowieka) realizują. Gdybyśmy chcieli potraktować organizm żywy jak jakieś urządzenie, powinniśmy zapytać czemu, jakiemu celowi, służy ten organizm **poza** sobą, do wykonania jakiego użytecznego zadania został zaplanowany. Jednakże, takiego celu czy zadania nie da się po prostu odnaleźć. Z punktu widzenia człowieka dochodzimy do paradoksalnego wniosku, że osobniki żywe nie służą niczemu, poza samymi sobą. Termostat regulujący temperaturę w lodówce, żeby człowiekowi nie zepsuło się pożywienie — to rozumiame. Ale termostat, który powstał samoistnie i reguluje temperaturę ot tak sobie — czy to nie dziwne? Oczywiście to, co podtrzymują samopowielające się układy żywe, to ich własne istnienie. Przypomina to termostat zbudowany z kawałków lodu, który tylko dlatego utrzymuje niską temperaturę, aby się nie stopić i ewentualnie wyprodukować jeszcze termostaty do siebie podobne. [5] Zakrawa to już na czysty bezsens. A jednak na tym właśnie polega istota życia i ewolucji — zjawiska te, tak jak kamienie spadające w polu grawitacyjnym, niczemu nie służą i nie posiadają żadnego celu, po prostu są. Dlatego, aby naprawdę zrozumieć sens ewolucji biologicznej, musimy zrezygnować z naszego antropocentrycznego punktu widzenia i sposobu wartościowania.

Jako dodatkowy aspekt systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych, poza podtrzymywaniem

własnego potencjału ekspansji, należy wymienić fakt, iż system taki staje się jednostką, **osobnikiem**. W użytej tutaj terminologii cybernetycznej bycie osobnikiem oznacza posiadanie pewnego autonomicznego celu, wyrażającego się właśnie opisaną wyżej kombinacją sprzężeń zwrotnych dodatnich i ujemnych (system sprzężeń zwrotnych ujemnych podporządkowanych sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu — potencjałowi ekspansji). Cel ten zakłada plan minimum: przeżyć, oraz plan maksimum: rozprzestrzenić swój własny system sprzężeń zwrotnych ujemnych (czyli swoje cechy, swoją tożsamość osobniczą) w jak największej ilości jak najbardziej podobnych do oryginału kopii. Cel ten, jak wspomniałem przed chwilą, uznać należy za zgoła całkiem bezrozumny i, w istocie, z antropomorficznego punktu widzenia, wydaje się on być zupełnie bezsensowny. Jakiż może bowiem być sens w niepohamowanym powielaniu się i rozprzestrzenianiu się „bez celu”? Osobnik biologiczny ma jednakże dwie alternatywy „do wyboru” („wybór” polega tu po prostu na zajściu przypadkowych mutacji, zmieniających system dyrektyw zapisanych w genomie): albo cel ten „akceptuje” i wywiera tak silne ciśnienie ekspansji, na jakie go tylko stać (nie po to nawet, żeby „zdobywać teren”, ale przede wszystkim, aby nie oddać go innym, którzy także prą do przodu wszystkimi siłami — proszę porównać model Czerwonej Królowej [6]), albo po prostu od razu wypada z gry. Jego cechy nie przechodzą na potomstwo i znikają, a całą pojemność środowiska wypełniają osobniki, które po swoich rodzicach odziedziczyły jak najwyższy potencjał ekspansji. Nie ma tu miejsca na „czas do namysłu”, na „refleksje” nad sensownością takiego przedsięwzięcia (mówię to, co jest chyba oczywiste, w przenośni). Takie bezrefleksyjne realizowanie celu, planu narzuconego po prostu przez system mechanizmów cybernetycznych z antropocentrycznego punktu widzenia wydaje się w najlepszym razie całkowicie jałowe, w najgorszym zaś zdecydowanie odpychające.

Osobnik, w użytych tutaj znaczeniu tego terminu, jest w zasadzie tożsamy z podmiotem ewolucji. Aby uniknąć pomieszania pojęciowego pomiędzy tradycyjnym (w swej istocie głównie strukturalnym) rozumieniem osobnika z jednej strony a ewolucyjno-cybernetyczną definicją osobnika proponowaną w tej pracy — z drugiej, na określenie tego ostatniego wprowadzę termin **"ewoluon"**, którego będę używał zamiennie z terminem „osobnik cybernetyczny”, a w opozycji do terminu „osobnik strukturalny”. O tym, że osobnik cybernetyczny (ewoluon) nie zawsze jest identyczny z osobnikiem strukturalnym, przekonamy się za chwilę. Na użytek niniejszych rozważań, aby unaocznić na przykładzie podaną przed chwilą, abstrakcyjną definicję osobnika cybernetycznego, krótko omówię jeden przypadek.

Jak wynika z powiedzianego powyżej, ewoluon jest samopowielającym się systemem, którego jedyny cel stanowi właśnie samopowielanie się, nie zaś li tylko częścią takiego systemu. Cecha ta nie zawsze musi się odnosić do rozumianego potocznie osobnika strukturalnego. Najlepiej widać to na przykładzie kolonii mrówek, złożonej z rozmnażającej się królowej oraz opiekujących się i broniących ją oraz jej potomstwo kast bezpłciowych (sterylnych) — robotnic oraz żołnierzy. Wedle tradycyjnego (w głównej mierze strukturalnego) paradygmatu osobnika robotnica mrówki oczywiście **jest osobnikiem** (choćby przez analogię do zdolnych do rozrodu osobników owadów niespołecznych — posiada głowę, nogi, odwłok i całą resztę, za wyjątkiem czynnego układu rozrodczego). Jednakże, z punktu widzenia cybernetycznego, robotnica mrówki **nie jest osobnikiem**, ponieważ służy nadrzędnemu celowi jakiejś większej całości, w tym przypadku całego mrowiska, nie będąc w realizacji tego celu **samowystarczalna** (robotnica „połączona” jest z innymi członkami kolonii siecią behawioralnych sprzężeń zwrotnych ujemnych). Natomiast właśnie całe mrowisko **jest osobnikiem cybernetycznym** (ewoluonem). Posiada ono bogatą sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, regulujących (m.in. za pomocą feromonów) wartość rozmaitych parametrów, np. liczebność poszczególnych kast (w tym płciowych). Za ewoluon nie można uznać także samej królowej, ponieważ stanowi ona jedynie część systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych umożliwiającego całej kolonii rozmnażanie się (produkcję kolonii potomnych) — królowa nie realizuje **samodzielnie** swego własnego potencjału ekspansji. Podobnie, np. u konia, osobnikiem cybernetycznym jest **cały** organizm, a nie jedynie, wykazujące przecież sporą autonomię strukturalno — funkcjonalną, jego komórki somatyczne (odpowiadające robotnicom) lub płciowe (odpowiadające królowej). (Zauważmy, że koń pochodzi od organizmów jednokomórkowych i z punktu widzenia formalnego jest ściśle zintegrowaną **kolonią** poszczególnych komórek). U organizmów jednokomórkowych ewoluon stanowi całą komórkę, nie zaś jedynie jej aparat genetyczny czy poszczególne geny ("samolubne DNA"). Osobnikiem cybernetycznym jest bowiem dopiero cały system sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujący swój własny potencjał ekspansji. Podsumowując, bezpłodnej robotnicy mrówki

nie można w żadnej mierze uznać za osobnika cybernetycznego (ewoluon), ponieważ realizuje ona biologiczno-ewolucyjne cele całej kolonii, nie zaś swoje własne.

Zdaje sobie sprawę, że powyższa definicja osobnika cybernetycznego (ewoluonu) może wydawać się sprzeczna z intuicyjnym, powszechnym rozumieniem terminu „osobnik”. W rozumieniu tym kryterium „osobniczości” jest przede wszystkim kryterium strukturalno-funkcjonalnym, mówiącym o przestrzenno-czynnościowym wyodrębnieniu jakiegoś układu. Zachodzi jednak pytanie, czy taki paradygmat nam wystarcza i czy jest on płodny heurystycznie. Zarówno mózg i wątroba w naszym ciele, jak i cała biosfera stanowią przykłady systemów wyraźnie wyodrębnionych pod względem strukturalnym i funkcjonalnym. To samo można powiedzieć o omawianych przed chwilą komórkach. A jednak, z pewnością nie są one osobnikami. Nie realizują one bowiem **samodzielnie** żadnych „własnych” celów. Organy w ciele podporządkowane są interesom całego organizmu, zaś żadnych „celów” biosfery nie da się sformułować w ramach cybernetycznej (a więc niesubiektywnej) terminologii. Z tych samych przyczyn ewoluonem nie jest robot, komputer lub termostat. Nie realizują one bowiem żadnych swoich, autonomicznych celów nadrzędnych, a jedynie cele narzucone im przez człowieka.

O tym, że intuicyjne pojęcie osobnika jest ufundowane przez ludzkie kategorie widzenia świata, ukierunkowane na **struktury przestrzenne**, świadczy casus organizmów wielokomórkowych, wspomniany przed chwilą na przykładzie konia. Teraz chciałbym ten temat nieco bardziej rozwinąć. Ciało konia składa się z miliardów komórek, spełniających rozmaite funkcje, zintegrowanych wzajemnymi interakcjami w jedną całość. Skądinąd jednak wiadomo, że odlegli przodkowie ssaków (i w ogóle wszystkich organizmów tkankowych) byli pojedynczymi komórkami, z których każda stanowiła niezależny ewoluon. Później, na skutek niecałkowitego rozdzielenia w procesie podziału, komórki zaczęły tworzyć wielokomórkowe agregaty, z biegiem czasu ulegając zróżnicowaniu na komórki rozrodcze oraz komórki pełniące odmienne funkcje. Takim wielokomórkowym agregatem jest do dzisiaj koń. Nikt jednak nie nazywa osobnikami wchodzących w jego skład komórek — osobnikiem jest cały organizm konia, albowiem to on realizuje swój własny potencjał ekspansji. A przecież, tak jak koń stanowi agregat wielu komórek, tak kolonia owadów społecznych jest niezależnym zespołem poszczególnych owadów, realizującym swój własny nadrzędny cel, nie zaś partykularne cele swoich członków. Poszczególne owady w kolonii łączy bogata sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, obejmująca wymianę pokarmu, regulację liczebności poszczególnych kast, utrzymywanie stałej temperatury i wilgotności w gnieździe i wiele innych. Konsekwentny obrońca obiegowego (kładącego nacisk na aspekt strukturalny) pojęcia osobnika mógłby zwrócić uwagę na ogromną różnicę (na korzyść konia) w stopniu organizacji układu oraz integracji jego poszczególnych elementów pomiędzy koniem a kolonią owadów społecznych. Ale jest to także argument chybiony. Prymitywny organizm wielokomórkowy, jakim jest na przykład toczek (*Volvox*), pomimo że jego komórki wykazują już zróżnicowanie na płciowe i somatyczne (podobnie jak owady w kolonii), to jednak ilość tych komórek oraz stopień ich integracji funkcjonalnej z pewnością nie dorównuje bogactwu i złożoności największych kolonii mrówek i termitów. Nikt jednakże nie twierdzi, że to nie cały toczek, ale jego części składowe (komórki) są osobnikami, chociaż pod względem formalnym oba rodzaje systemów (toczek i kolonia owadów) wydają się być bardzo podobne.

Dlaczego zatem uważa się za osobnika toczka, odmawiając równocześnie statusu indywiduum kolonii owadów? Przyczyna jest całkiem trywialna. Organizm toczka to zespół komórek zintegrowanych w dużej mierze głównie **strukturalnie**, podczas gdy w sposobie wzajemnych interrelacji owadów w kolonii przeważa komponenta **funkcjonalna**. Cechą integracji przez ludzki mózg bodźców ze świata zewnętrznego (przede wszystkim wzrokowych) jest to, że daleko łatwiej „dostrzega” on związki strukturalne, kładąc mniejszy nacisk na powiązania czynnościowe. Dlatego intuicyjnie znacznie prędzej uznamy za osobnika robota, niż kolonię owadów. Ale aspekt strukturalny, tak istotny dla naszego oglądu świata, dla ewolucji biologicznej wydaje się być w dużej mierze akcydentalny. Jak zobaczymy poniżej, osobnikami cybernetycznymi (ewoluonami) mogą być układy tak rozmaicie uorganizowane przestrzennie, jak nić DNA, pojedyncza komórka, stoń czy właśnie kolonia owadów. Wynika to stąd, że głównym kryterium osobnika jest dla ewolucji aspekt funkcjonalny, i to właśnie w ujęciu cybernetycznym. Zgodnie z tym ujęciem, osobnik to system sprzężeń zwrotnych ujemnych realizujący swój własny cel nadrzędny - ekspansję swej tożsamości, bez względu na to, jak te sprzężenia przejawiają się w aspekcie materialnoprzestrzennym. Z powyższych przyczyn

uważam potoczne (strukturalne) pojęcie osobnika za mylące oraz mało płodne heurystycznie, proponując na jego miejsce wprowadzić paradygmat ewolucyjno-cybernetyczny identyfikujący osobnika (cybernetycznego) z tym, co nazwałem ewoluonem.

[...]

Ogólnie rzecz biorąc, główną rolą podejścia cybernetycznego wydaje się być stworzenie pewnego ogólnego punktu odniesienia, pozwalającego w sposób sensowny, uniwersalny i w miarę „obiektywny” orzekać o zjawisku życia i ewolucji. Paradygmat ten oferuje pewne kryterium, które, przyłożone do rozmaitych fenomenów, pozwala na ich porządkowanie i klasyfikację, a przynajmniej na ich zrelatywizowanie, odniesienie w sposób płodny do innych fenomenów. W końcu, co może najważniejsze, pomaga on w wyrobieniu sobie intuicyjnego poglądu na istotę życia.

Na chwilę powrócę jeszcze do kwestii podmiotu ewolucji, czyli podstawowej ewoluującej jednostki. Ten status przypisywano pojedynczym genom, całym genomom, układom samopowielającym się lub ich grupom. Nie będę tutaj opisywał argumentów stojących za każdym z tych poglądów. Wspomniałem wcześniej, że w prezentowanej tu koncepcji podmiotem ewolucji niejako automatycznie staje się układ sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujących nadrzędne sprzężenie zwrotne dodatnie, czyli po prostu ewoluon. Ujmując rzecz ściślej, należałoby mówić o ewolucji nie tyle samych osobników, co ich tożsamości (zespołu cech). Tożsamość bowiem, jak dyskutowałem powyżej, bardziej kojarzy się z czymś podzielnym i stopniowanym, mogącym ulegać ciągłym zmianom. Nie stwarza ona przez to większych kłopotów semantycznych w przypadku np. rozmnażania płciowego, w którym potomstwu przekazywana jest przecież nie część samego osobnika rodzicielskiego, lecz właśnie część jego tożsamości. To małe przesunięcie akcentów znaczeniowych nic nie zmienia w konstrukcji logicznej paradygmatu cybernetycznego, wydaje się natomiast lepiej pasować do naszej potocznej tradycji pojęciowej.

O tym, że to właśnie tożsamość (a więc w istocie rzeczy pewna **informacja**), a nie jej poszczególny „nosiciel” w postaci osobnika, stanowi podmiot ewolucji, świadczy najlepiej przypadek „samobójczych plazmidów” [7]. Plazmidy takie zawierają dwa geny: jeden warunkuje odporność na określony rodzaj toksyny (kolchicynę), drugi jest odpowiedzialny za produkcję tej toksyny. Białko kodowane przez pierwszy gen jest kodowane *non stop*, natomiast produkcja kolchicyny zostaje uruchomiona w momencie, kiedy zagęszczenie bakterii przekracza pewien poziom. To ostatnie prowadzi do śmierci komórki bakteryjnej wytwarzającej toksynę (w skutek ogromnego stężenia toksyny w komórce wytwarzającej ją bakterii, nie pomaga nawet gen oporności na toksynę), a więc także posiadanych przez tę komórkę plazmidów, jak również wszystkich innych bakterii **nie** zawierających omawianych plazmidów. Ułatwia to znacznie przeżycie pozostałym bakteriom posiadającym te plazmidy. Dana kopia plazmidu popełniając „samobójstwo” promuje zatem inne kopie o tej samej tożsamości. Jest to przykład „altruizmu” genetycznego nieco podobnego do tego, jaki ma miejsce w przypadku bezpłciowych kast owadów społecznych.

[...]

[Przyłóżmy] paradygmat cybernetyczny do wiroidów, czyli nagich cząsteczek RNA pasożytujących na roślinach. Potrafią one dostać się do komórek swego gospodarza i tam indukować intensywną produkcję własnych kopii, co zaburza funkcjonowanie komórki (ogółąca ją z energii i substancji budulcowych), prowadząc do jej śmierci. Wiroidy nie mają, co prawda, podobnie jak wirusy, „własnego” metabolizmu. Można by się więc spierać, czy są w posiadaniu „własnego” systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych. Byłaby to jednak dyskusja czysto akademicka. Dla nas ważne jest, że wiroidy potrafią „wejść” w system sprzężeń zwrotnych ujemnych komórki gospodarza i przestawić go na inne tory, zmieniając **parametr**, którego wartość jest optymalizowana. Ten optymalizowany parametr to po prostu (możliwie duża) liczba kopii danego wiroida, natomiast zaniedbana zostaje regulacja takich parametrów, jak stężenie ATP, substancji odżywczych etc. co w końcu prowadzi do śmierci komórki i uwolnienia wiroidów (nagich, kolistych cząsteczek RNA), które mogą następnie infekować następne komórki. Cała struktura wiroida, wynikająca z sekwencji nukleotydów w nici RNA, jest **przystosowana** do wnikania do komórek gospodarza i przestawiania ich metabolizmu na namnażanie cząsteczek wiroida preferencyjne w stosunku do syntezy własnych kwasów nukleinowych komórek i w ogóle w stosunku do wszelkich innych procesów. Tożsamość (sekwencja nukleotydów) wiroida może ewoluować, zwiększając jego skuteczność infekcyjną oraz umożliwiając mu zainfekowanie innych gatunków roślin.

Wszystkie „czynności życiowe” wiroida wykonywane są przez enzymy gospodarza,

kosztem jego energii i substancji budulcowych. Owo „scedowanie” na żywiciela części sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych potrzebnych pasożytowi do przeżycia jest typowe dla układu pasożyt — żywiciel. W zasadzie, stanowi ono właśnie o istocie pasożytnictwa. U wiroidów scedowanie to przybrało jednak formę skrajną — właściwie wszystkie mechanizmy regulacyjne zostały „przerzucone” na gospodarza, podczas gdy zadaniem pasożyta jest jedynie „wejść” w system sprzężeń zwrotnych ujemnych żywiciela i przestawić go na realizowanie własnego namnażania. Jako że wiroidy są ewidentnie „intencjonalnie” nakierowane na wykonanie tego zadania, z cybernetycznego punktu widzenia należy je uznać za ewoluony.

Cały spowodowany przez wiroidy ciąg zdarzeń jest więc ściśle **celowy** i prowadzi do namnażania cząstek wiroida oraz infekcji następnych komórek lub osobników gospodarza. Zjawisko takie w żadnym razie nie występuje u prionów. W swojej formie „normalnej” priony pełnią najprawdopodobniej jakąś użyteczną funkcję w organizmie gospodarza (są przecież kodowane w jego DNA), natomiast szkodliwość ich formy „infekcyjnej” jest po prostu przypadkiem, pułapką ewolucyjną wytwarzającego je organizmu, czymś (ale to dosyć daleka analogia) w rodzaju autoalergii [8]. Nie mamy żadnych podstaw, aby sądzić (i wydaje się to niemożliwe z przyczyn zasadniczych), że struktura prionów została przez ewolucję „udoskonalona” w celu zwiększenia ich infektywności. Nie stanowią one bowiem „podmiotu” dla ewolucji, choćby dlatego, że nie potrafią przekazać swemu „potomstwu” informacji o własnej strukturze (sekwencji aminokwasów), a więc zachować ciągłości w czasie własnej tożsamości. Informacja ta znajduje się bowiem nie w nich samych, ale w jądrze komórkowym, na które nie mają wpływu. *De facto*, namnażaniu ulegają przecież nie priony (których ilość pozostaje stała w czasie), a jedynie ich **konformacja infekcyjna** (kosztem formy normalnej). Priony nie są zatem w żadnym razie ewoluonami, w przeciwieństwie do wiroidów. Niemniej, postawienie obok siebie prionów i wiroidów (oba fenomeny reprezentują pojedynczą makromolekułę chemiczną) znacznie zmniejsza przepaść ziejącą, zdawałoby się, pomiędzy życiem i kamienną lawiną.

Jeżeli status ewoluonów przyznamy został wiroidom, to z pewnością należy się on także wirusom, których jednostki — wiriony — to cząsteczki RNA lub DNA „zamknięte w chroniącej je i ułatwiającej proces infekcji otoczce białkowej. Cząsteczka kwasu nukleinowego w wirionie jest znacznie większa, niż nić RNA wiroidu. Koduje ona kilka białek, w tym białka otoczki oraz białka uczestniczące w powielaniu wirusowej nici DNA lub RNA w komórce gospodarza, a także biorące udział w syntezie białek otoczki wirusa. Wirusy wykazują już jakby zaczątki własnej sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych. Bakteriofagi aktywnie wstrzykują swoją nić kwasu nukleinowego do komórki bakterii, a wiele wirusów koduje własne enzymy, optymalizujące szybkość namnażania wirionów potomnych w komórce gospodarza. Generalnie jednak, z punktu widzenia paradygmatu cybernetycznego, wirusy należałoby postawić w ścisłym sąsiedztwie wiroidów.

Inny ciekawy *casus*, w pewnym sensie pośredni pomiędzy prionami z jednej strony, a wiroidami i wirusami — z drugiej, stanowią nowotwory, a w szczególności nowotwory złośliwe. Akt transformacji nowotworowej normalnej komórki można interpretować w kategoriach cybernetycznych jako „wyłamanie się tej komórki spod realizacji nadrzędnego celu całego organizmu i narzucenie sobie własnego celu nadrzędnego, czyli po prostu własnej ekspansji. Nowotwór nie „wie”, że jego żywot skończy się wraz ze śmiercią całego organizmu (zresztą nie zawsze tak jest — wiele linii nowotworowych hoduje się obecnie dla celów naukowych!), tak jak dinozaury nie „wiedziały”, że wyginą na skutek upadku meteorytu. Oba przypadki różni oczywiście skala czasowa — ale niewiele więcej. Często uważamy raka za zjawisko zupełnie bezsensowne, w przeciwieństwie do życia. Jest to jednak ułuda ludzkiego umysłu, ferowana przez nasze skłonności do antropocentryzmu. Nowotwór nie jest mniej (lub bardziej) sensowny, niż życie w ogóle (ściślej: różnica jest jedynie ilościowa, lecz nie jakościowa). Komórki nowotworowe nie posiadają po prostu odpowiednich mechanizmów, żeby zapewnić sobie przetrwanie po śmierci organizmu, który opanowały. Jednak w „środowisku” organizmu radzą sobie nie gorzej, niż bakterie na pożywce. To, że komórki nowotworowe nie mają czasu na większą ewolucję i „doskonalenie się” (aż skóra cierpnie na samą myśl o takiej możliwości) spowodowane jest bardzo ograniczoną pojemnością ich „środowiska”. Nie są one zatem w stanie wytworzyć na czas dostatecznie skomplikowanej sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych (sprzężenia zwrotnego dodatniego im nie brakuje). Innymi słowy, komórki nowotworowe nie zdążą „przystosować się” do swojej szeroko rozumianej „niszy ekologicznej”. Zauważmy iż ewolucja „normalnych” pasożytów zmierza w kierunku zmniejszenia ich szkodliwości dla

organizmu gospodarza — nie opłaca się im się bowiem zabijać swego żywiciela. Nowotwór różni się oczywiście od „normalnego” pasożyta niemożnością zarażenia innego organizmu żywicielskiego. Jeżeli jednak komórka nowotworowa wytwarza w krótkim czasie swego istnienia przynajmniej pewne **celowe mechanizmy** (sprzężenia zwrotne ujemne) powodujące niewrażliwość na układ odpornościowy (immunologiczny) lub inne reakcje obronne organizmu, a więc zapewniające jej przeżycie i rozwój w jej środowisku (czyli organizmie), to z formalnego punktu widzenia jest ona osobnikiem cybernetycznym (ewoluonem). Jak wspomniałem, w obrębie paradygmatu cybernetycznego nowotwory lokują się w pewnym sensie gdzieś pomiędzy prionami a wiroidami i wirusami. Nowotwory posiadają sieć sprzężeń zwrotnych dodatnich zapewniających im ekspansję w tymczasowym (ale to kwestia umownej skali czasowej — istnienie życia na kuli Ziemskiej, jeżeli liczone w miliardach lat, także jest tymczasowe), ograniczonym środowisku organizmu żywego. Charakteryzują je także zapewne pierwociny ewolucji (np. presja układu immunologicznego mogłaby premiować „najlepiej przystosowane” komórki nowotworowe) — gdyby pozwolić im żyć dostatecznie długo, z pewnością zaczęłyby one „normalnie” ewoluować. Stawia to nowotwory „wyżej” od prionów, które nie są w posiadaniu żadnego układu sprzężeń zwrotnych ujemnych. Nowotwory nie potrafią jednak przetrwać i rozprzestrzeniać się w szerszym i bardziej trwałym środowisku, jaki stanowi populacja osobników gatunku żywicielskiego, co charakteryzuje wiroidy i wirusy, mogące przenosić się z jednego osobnika na inny. Dowodzi to większego stopnia „ożywienia” tych ostatnich, chociaż pod względem skomplikowania struktury wirusy i wiroidy znacznie ustępują komórkom nowotworowym. Liczy się jednak przede wszystkim kryterium cybernetyczne.

Ostatnim, niezmiernie ciekawym, stojącym na pograniczu życia i procesów nieożywionych (ale bardziej po stronie życia), fenomenem jaki chciałbym omówić, jest „pasożytnicze” DNA. [...]

Wyżej dyskutowane przykłady dotyczą przypadku, kiedy w obrębie jednolitego początkowo systemu, będącego z punktu widzenia cybernetycznego pojedynczym osobnikiem, wyodrębiają się systemy wtórne, mające swoje własne cele i potencjały ekspansji, co czyni je niezależnymi osobnikami. Możliwe jest jednak zjawisko odwrotne — łączenie się niezależnych indywidualów w pewną całość, co w skrajnych przypadkach może doprowadzić do powstania z nich jednego osobnika, jednego podmiotu ewolucji. Typowym tego przykładem stanowi symbioza, polegająca na takim współżyciu dwóch organizmów (lub, szerzej, gatunków), że obaj partnerzy odnoszą z tego współżycia korzyści. Sztandarowym przykładem symbiozy są porosty, których plechy stanowią połączenie komórek grzyba i glona. [...] „Natężenie” symbiozy, czyli wzajemne uzależnienie od siebie osobników można stopniować — od bardzo luźnych, fakultatywnych związków, dających niewielkie tylko korzyści, do całkowitego i bezwzględnie uzależnienia. Jako przykład tego ostatniego można przytoczyć mitochondria — organelle komórkowe u organizmów eukariotycznych, odpowiedzialne za oddychanie tlenowe.

Mitochondria prawie na pewno są potomkami wolnożyjących niegdyś bakterii, które weszły w symbiozę z przodkami jednokomórkowych organizmów eukariotycznych, zapewne podobnych do współczesnych pełzaków (ameb). [...]

Cała powyższa dyskusja dotycząca symbiozy miała przede wszystkim za zadanie pokazać, że w alternatywie: „być albo nie być ewoluonem” zasada wyłączonego środka nie obowiązuje — można być osobnikiem tylko częściowo. W przypadku zjawiska symbiozy, pomiędzy dwoma niezależnymi podmiotami ewolucji (osobnikami) a jednym indywiduum istnieje całe spektrum stanów przejściowych (jako miara może tu służyć gęstość sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych pomiędzy partnerami w symbiozie). [...]

Na koniec, jeżeli odniesiemy wszystko powiedziane powyżej do społeczeństw ludzkich, powstaje problem, co z ludźmi, którzy nie chcą lub nie mogą się rozmnażać z powodów kulturowych (celibat) albo biologicznych (wrodzone wady genetyczne, operacja, wypadek). Czy nie są oni osobnikami w cybernetycznym znaczeniu (ewoluonami)? To wydaje się już brzmieć całkiem nonsensownie. A jednak nie są oni osobnikami z punktu widzenia biologiczno-ewolucyjnego. Jednakże, w przeciwieństwie do pozostałych zwierząt, człowiek ma także inne cele nadrzędne; poza ekspansją własnych genów. Jest to „ekspansja” własnych przekonań, wierzeń, poglądów moralnych, poczucia estetycznego, wiedzy o świecie, uczuć, słowem — własnej psychiki w całej sieci pojęciowej kultury. Wszystko to składa się na istotę człowieka jako osobnika kulturowego. Słowa „ekspansja” nie należy tutaj utożsamiać z zaborczością, ani w ogóle z rozumieć pejoratywnie. Przecież kapłan nauczający miłości bliźniego także zmierza do rozprzestrzenienia swoich poglądów w obrębie kultury. Rzutowaniem własnej osobowości w

system znaczeń kulturowych jest każdy akt uczestnictwa w życiu społeczeństwa. Świadczy to tylko o tym, że dla człowieka bycie osobnikiem w sensie psychiczno-kulturowym jest (bywa) istotniejsze, niż realizowanie się jako osobnik w sensie czysto biologicznym. Należy przy tym zaznaczyć, że cele te w dużej mierze się pokrywają — na kształtowanie niczyjej psychiki rodzice nie mają większego wpływu, niż psychiki swoich dzieci. Już jednakże decyzja posiadania mniejszej liczby potomstwa, które można lepiej wykształcić i przygotować do życia (a nie li tylko do przeżycia), świadczy o istotnym wkładzie „celów” kulturowych.

[Tekst pochodzi z książki: B. Korzeniewski, *Trzy ewolucje*, Kraków 1998. Publikacja w Racjonalistcie za zgodą Autora.]

Podobna tematyka na: [Rozmowa z twórcą cybernetycznej definicji życia](#)

Przypisy:

[1] Tekst powstał w 1998 r.

[2] Opisany mechanizm jest w rzeczywistości trochę bardziej skomplikowany - np. jony wapnia mogą stymulować jednocześnie produkcję i zużycie ATP.

[3] Autor opisuje to w trzeciej części książki *Trzy ewolucje*, zatytułowanym "Ewolucja sieci pojęciowej".

[4] Ten ostatni warunek zapobiega zaklasyfikowaniu jako "żywe" takich układów, jak kultury, państwa i firmy ekonomiczne, wyposażonych w sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych i dążących do ekspansji kosztem innych, podobnych sobie układów.

Jednakże, wymienione układy składają się z jednostek ludzkich, z których każda realizuje także (o ile nie przede wszystkim) swoje własne, prywatne cele biologiczne, psychiczne i kulturowe; a nie jedynie cele układu, którego jest częścią. Poza tym, takie układy jak kultury, państwa i firmy ekonomiczne realizują swój potencjał raczej przez powiększanie swego własnego zasięgu, niż przez produkcję układów potomnych o (prawie) identycznej tożsamości. Nie możemy więc tu mówić o osobnikach, tak istotnych dla cybernetycznej definicji życia.

[5] Przykład ten jest celowo groteskowy. Można sobie jednakże wyobrazić "sztuczne życie" stworzone przez człowieka lub inne istoty rozumne. Byłoby to coś w rodzaju robotów produkujących roboty do siebie podobne z substancji (oraz energii) pobieranych z otoczenia. Musiałyby tym robotom potomnym przekazywać plan instruujący jak zbudować następnego podobnego robota. Zapis tego planu mógłby ulegać drobnym przypadkowym zmianom (mutacjom) na skutek niedoskonałości fizycznego nośnika tego zapisu. Takie "osobniki" mogłyby pomiędzy sobą rywalizować o dostępne zasoby środowiska i ewoluować. To, co Stanisław Lem nazwał "martwą ewolucją" w swoim opowiadaniu *Niezwyciężony*, stanowi w zasadzie ewolucję sztucznego życia.

[6] Model ten; zrodzony w obrębie genetyki populacyjnej, opisuje sytuację, w której dopiero tak szybkie ewoluowanie, jak się da, zapewnia "stanie w miejscu", to znaczy nie przegranie rywalizacji z także ewoluującą możliwie szybko konkurencją, czyli nie zostanie wypchniętym z dostępnej pojemności środowiska. Nazwa wzięła się z książki Lewisa Carolla *Co Alicja zobaczyła po drugiej stronie lustra* (druga część *Alicji w krainie czarów*), gdzie Czerwona Królowa dopiero biegnąc z największą szybkością była w stanie pozostać w miejscu.

[7] Przykład ten zaczerpnąłem z książki *Problemy biologii* Johna Maynarda Smitha.

[8] W przypadku autoalergii system immunologiczny danego zwierzęcia wytwarza przeciwciała przeciwko własnym białkom tego zwierzęcia, co, jak w wypadku prionów, stanowi przykład działania jakiejś części organizmu na szkodę całości.

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: 29-11-2003 Ostatnia zmiana: 30-11-2003)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,3105) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,3105>)

Contents Copyright © 2000-2008 by Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.

Właścicielem witryny 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 tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

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

Informacje zawarte na tej witrynie 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 serwisu 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 witrynie. **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 serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl