

Andrzej Gecow

## DROGA DO MODELU EWOLUCJI STRUKTURY

### III odcinek *Szkicu dedukcyjnej teorii życia*

#### STRESZCZENIE

Przedstawione są trzy proste modele opisujące podstawowe obserwacje obiektów żywych. Model ewolucji adaptacyjnej obiektu bez struktury, opisanego wektorem cech o kilku wariantach, pozwala wyrobić intuicje łączące ewolucję z informacją, informacją celową, entropią i prawdopodobieństwem. Daje on ilościowe podstawy dla naturalnego kryterium tożsamości, które ma głębokie znaczenie filozoficzne oraz pozwala formalnie zaistnieć tendencji małej zmiany. Dalej będzie on elementem modelu ze strukturą, który wskaże docelowe tendencje strukturalne. Drugi model dotyczy długości zapisu informacji celowej, która pozwala naszej intuicji wyróżniać obiekty żywe. Tu model bez struktury zastosowany jest w tym samym obiekcie po raz drugi, ale do innego aspektu. Trzeci model rozwija pojęcie degeneracji zdefiniowane w modelu bez struktury. Definiuje się w nim zapas i przedział degeneracji dozwolonej, które przewidują istotnie różną zmienność podczas eksplozji ilościowej i podczas konkurencji. Z modelu wynika wyraźnie mniejsze znaczenie konkurencji w ewolucji i rozpad darwinowskiego doboru naturalnego na dwa niezależne mechanizmy selekcyjne.

**Słowa kluczowe:** informacja biologiczna, informacja celowa, degeneracja, konkurencja, eksplozja ilościowa, radiacja adaptatywna.

#### 1. WSTĘP

Niniejszy, III odcinek *Szkicu teorii życia* jest bardziej samodzielny niż II odcinek; można go czytać z dostatecznym zrozumieniem bez znajomości poprzednich odcinków. Opisuje on w zasadzie trzy modele i kilka istotnych zagadnień. Nie są one podporządkowane jednej wspólnej przewodniej tezie zamkniętej w tym artykule, choć za taką można uznać oczekiwane proporcje zmian „na gorsze i na lepsze” podczas ewolucji i podstawy tego oczekiwania istotne dla intuicji.

Najważniejszy tu, prosty model procesu udoskonalania obiektu bez struktury wraz ze swoimi wnioskami (Gecow 1983b; 1986; 2009c) stanowi

dostatecznie zamkniętą całość (rozdział 2) dającą ciekawy obraz i intuicje łączące ewolucję biologiczną z podstawowymi abstrakcyjnymi pojęciami matematyki jak prawdopodobieństwo, informacja i entropia. Jego umiejscowienie w Szkicu wskazuje rozdział 2 odcinka II (II.2), i tam rys.1c – nabiera on znaczenia jako główna część szerszego modelu opisującego ewolucję adaptacyjną obiektu ze złożoną strukturą. Ten szerszy model posłuży w dalszych odcinkach Szkicu do wykazania na drodze symulacyjnej tendencji strukturalnych (Gecow 1975; 1983a; c; 2005b; 2008a; 2009b) odpowiadających skrajnie kontrowersyjnym w biologii prawidłowościom ewolucji ontogenezy

(Gecow 1986; 2005a). Został on już zasygnalizowany w (I.3.4.2 i II.2), a nawet użyty z zastrzeżeniami na kredyt w (II.4.4) do opisu osłony tworzącej wyższe kanały informacji dziedzicznej.

Model ewolucji obiektu bez struktury jest przede wszystkim podstawą sformułowania ogólnej definicji tendencji, a w szczególności wskazania tendencji małej zmiany – znanej prawidłowości, ale na poziomie intuicyjnym, mówiącej, że ewolucja adaptacyjna wymaga małych zmian<sup>1</sup>. Jest ona pośrednią przyczyną wszystkich tendencji strukturalnych, ale także leży u podstaw naturalnego kryterium tożsamości wprowadzonego w (I.3.4), które jest podstawą rozumienia ewoluującego obiektu i ma istotne znaczenie filozoficzne. Kryterium to polega na braku większej zmiany w ciągu postaci obiektu, co w obecności rozmnażania (wegetatywnego) definiuje dziedziczenie<sup>2</sup> (bliżej omawiane w (II.3)). Jednocześnie pozwala bez utraty tożsamości na małe zmiany tworzące ewolucję, umożliwiające zbieranie informacji celowej.

Model bez struktury wprowadza informację, jaką posiada obiekt o ideale przystosowawczym. Jest to prostszy od wprowadzonego w (I.2) oraz (Gecow 2008b; 2010b) model informacji celowej wskazujący użytkową wartość informacji postulowaną przez Eigena (1971) i Küppersa (1986) (patrz wstęp do I odcinka).

Innym aspektem informacji celowej jest jej długość, modelowana w rozdziale 3, która jest główną cechą zaawansowanych organizmów żywych rzucającą się w oczy i leżącą u podstaw naszego odróżniania „żywego” od materii nieożywionej. Temat jest jedynie wstępnie rozpoznany, głównie na poziomie intuicyjnym, jednak do tego zaadaptowany został model obiektu bez struktury opisany w rozdziale 2.

---

<sup>1</sup> Ocena wielkości zmiany musi mieć określone odniesienie. Jak dotąd, jest ono w biologii nieokreślone, przyjęte intuicyjnie, w domyśle: w zakresie zmian akceptowalnych, gdzie obiekt ewoluujący może przeżyć. Czyli ze zbioru obserwowanych zmian ewolucyjnych, które zostały skumulowane i obiekt ewoluuje dalej. W tym podejściu rozważany jest zbiór w ogóle możliwych zmian, z których tylko część przepuszcza selekcja. Nie zakłada się też a priori mechanizmów regulacyjnych i innych cech, które radykalnie ograniczają ten zbiór możliwych zmian – te elementy będą dopiero wnioskiem z rozważań. Brak jawności i werbalizacji takich ustaleń jest źródłem nieporozumień.

<sup>2</sup> Ewolujący obiekt to nitka ewolucyjna wielu pokoleń, ale obiekt jest ten sam.

Dość trywialnym wnioskiem z modelu bez struktury jest degeneracja. Temat ten rozwinięty jest w rozdziale 4, gdzie dyskutowana jest degeneracja dozwolona przez eliminację. Daje ona podczas eksplozji ilościowej istotnie odmienną i ważną ewolucyjnie zmienność zaakceptowaną. Zjawisko jest jedynie zasygnalizowane i wymaga bardziej rozbudowanych modeli do głębszego, ilościowego opisu. Przy okazji jego omawiania dyskutowany jest prosty model odróżniający dwa testy podczas eksplozji ilościowej i późniejszej konkurencji, omawiane już w (I.3.4–6) oraz (Gecow 2008b; 2010b). Są to: typowy test eliminacji darwinowskiej i test efektywności, które razem podczas konkurencji dają napęd ewolucji (co i Darwin doceniał).

Należy przypomnieć, że Szkic, którego jest to III odcinek,<sup>3</sup> ma charakter dedukcyjny, co wymaga oceny konieczności czynionych założeń. Trzeba podkreślić, że także w tym odcinku nie jest zakładane rozmnażanie płciowe, które oprócz mechanizmów populacyjnych omawianych w rozdziale 5.3 II odcinka tworzy pojęcie osobnika, który musi umrzeć.

## 2. MODEL PROCESU UDOSKONALANIA OBIEKTU BEZ STRUKTURY

W (II.2.2 na rys.1c) określona została pozycja modelu procesu udoskonalania obiektu bez struktury, który jest tematem tego rozdziału. Do jego czytelności nie jest jednak konieczna znajomość poprzednich dwóch odcinków Szkiu. Rozwijany tu model jest podstawą modelu ewolucji struktury (II.2.2 rys. 1d, II.2.3), z którego wnioski będą głównym biologicznym wynikiem Szkiu. Jest to bardzo prosty i ogólny model, więc nic dziwnego, że jest on podobny do już znanych modeli, jak np. FGM – Geometryczny Model Fishera (Fisher 1930), jednak przyjęte tu parametry ułatwiają analizę innych tematów.

### 2.1. Założenia i definicje

#### 2.1.1. *Obiekt jest reprezentowany przez wektor swoich własności*

Załóżmy, że obiekt  $y$  jest reprezentowany przez  $m$  własności, w skrócie: obiekt  $y$  jest  $m$ -wymiarowym wektorem cech,<sup>4</sup> z których każda może przyjmować  $s$  różnych równoprawdopodobnych wariantów. Dla wygody dalszych zastosowań cechę nazywać będziemy sygnałem, a dla oznaczenia jej wariantów stosować będziemy liczby naturalne od 0 do  $s-1$ .

<sup>3</sup> Proszę szukać informacji o ciągu dalszym tego serialu na <https://sites.google.com/site/andrzejgecow/home>.

<sup>4</sup> W FGM Fishera (1930) cechy mają wartości rzeczywiste, a wielkość zmiany to odległość w  $m$ -wymiarowej przestrzeni. Współcześnie podobne modele w zastosowaniu do alleli rozważa Reinhard Bürger (2000).

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_m) \quad y_i \in [0, s-1] \quad (1)$$

W przykładach rozważanych w tym artykule zawsze  $m=64$ , a jako główny przykład zastosujemy<sup>5</sup>  $s=4$ .

### 2.1.2. Proces dowolny i proces udoskonalania

Obiekt  $y$  zmienia się w sposób losowy – jest to proces dowolny. Aby opisać ewolucję adaptacyjną obiektów żywych, w I odcinku Szkicu wprowadzony został proces udoskonalania. W II odcinku rozdziale 2.2 (dalej w skrócie: II.2.2) rys.1c wskazany został sposób uproszczenia początkowego opisu przez zaniedbanie sytuacji przed przekształceniem przez prawa fizyczne i środowiska po przekształceniu, oraz specyfiki jedyne go możliwego celu w spontanicznym procesie zbierania informacji celowej, jakim jest „istnieć nadal”. Tak więc cel określamy teraz arbitralnie jako wzorzec, ideał  $y^*$ .

Po losowej zmianie obiekt  $y$  porównywany jest do tego ideału  $y^*$  i otrzymujemy parametr  $b$  – liczbę sygnałów (cech) obiektu  $y$ , których wariant jest taki sam jak w ideale  $y^*$  ( $y_i=y^*_i$ ). (Wszystkich cech jest  $m$ .)

Założenie, że  $b$  nie może maleć jest warunkiem udoskonalania (adaptacji) a.

$$a \equiv (b_{t+1} \geq b_t) \quad (2)$$

Jego spełnienie daje proces udoskonalania. Indeks  $t$  reprezentuje czas procesu, jest numerem zmiany i kolejnego obiektu, tworzących proces udoskonalania.

Parametr  $b$  mierzy podobieństwo obiektu  $y$  do jego ideału  $y^*$  i reprezentuje doskonałość obiektu, wielkość zbliżoną do fitness w biologii. Przede wszystkim rozważać będziemy najprostsz y typ doskonałości oparty o logiczną (dwustanową, boolean) decyzję: identyczny lub inny wariant cechy (wartość sygnału)  $y_i$  w porównaniu do idealnego  $y^*_i$ , ale zwrócimy uwagę także na wagowy (*gradual*) typ doskonałości gdzie każdy wariant cechy ma swój poziom podobieństwa do wariantu idealnego z przedziału 0 do  $s-1$ .

Proces udoskonalania także składa się ze zmian losowych, ale kolejne zmiany spełniają warunek udoskonalania. W procesie ewolucji biologicznej warunek udoskonalania nie jest tak bezwzględny, co dalej będziemy dyskuutować w rozdziale 4, ale dla celów tego modelu jest to dobre przybliżenie. Spełnienie warunku udoskonalania w każdej kolejnej zmianie przez dłuższy proces zmian losowych jest bardzo nieprawdopodobne. Obiekty żywe radzą sobie z tym problemem stosując rozmnażanie w takim tempie  $V$  (I.3.5; I.3.6; i tu 4) by przynajmniej jedna nitka ewolucyjna ciągle pozostawała. Niestety, są to procesy i parametry statystyczne i *a priori* nie jest znane dostateczne

<sup>5</sup> Uwaga, często stosowane  $s=2$ , czyli przypadek binarny, inaczej logiczny (tak, nie), daje odwrotne wyniki statystyczne.

tempo rozmnażania  $V$ , ale im większe, tym większa liczebność i większa szansa na ciąg dalszy. W symulacjach zakłada się, że jest to nitka, której się udało (co w przypadku opisywanej rzeczywistości wiemy wybierając ją *a posteriori*), więc losuje się dotąd, aż uda się zgodność z warunkiem udoskonalania.

### 2.1.3. Definicja tendencji

Tendencja jest to różnica pomiędzy procesami udoskonalania i dowolnym w rozkładzie prawdopodobieństwa parametru zmiany:  $P(X|a)$  i  $P(X)$  gdzie:  $X$  – jakiś parametr zmiany. Tendencja występuje, gdy  $P(X|a)/P(X)$  nie jest stałe dla każdego  $X$ . Uwaga:  $X$  musi opisywać zmianę (np. liczbę  $L$  zmienionych sygnałów w  $y$ ), a nie stan obiektu czy procesu (np. doskonałość  $b$  opisuje stan, a nie zmianę).

Ze znanej zależności Bayes'a:

$$P(a) P(X|a) = P(a|X) P(X) \quad (3)$$

$P(a)$  jest stałe, więc tendencja jest wskazana przez prawdopodobieństwo akceptacji  $X$ :  $P(a|X)$ . Jak widać, nie musimy znać  $P(X)$  by znać tendencję, wystarczy, że dla różnych  $X$ ,  $P(a|X)$  jest różne.

Rozwój procesu udoskonalania może wpływać na warunki tworzące tendencję w rozmaity sposób, dlatego można oczekiwać, że nasilenie tendencji może zmieniać się wraz z zaawansowaniem procesu. Oznaczmy ogólny parametr wskazujący zaawansowanie procesu przez  $g$ . Musi on opisywać stan procesu. Pierwszym konkretnym kandydatem na  $g$  jest wspomniany już parametr  $t$  numerujący kolejne obiekty w procesie udoskonalania. Drugim może być doskonałość  $b$ , która maleć nie może, więc statystycznie rośnie monotonicznie z  $t$ .

Wzbogaćmy teraz opis tendencji o parametr  $g$ : tendencja jest różnicą pomiędzy rozkładami  $P(X|a,g)$  i  $P(X|g)$  parametru zmiany  $X$  w stanie  $g$ . Jak powyżej z Bayesa:

$$P(a|g) P(X|a, g) = P(a|X, g) P(X|g) \quad (4)$$

Dla konkretnego  $g$  nadal tendencję pokazuje  $P(a|X, g)$ , ale już nie wystarczy to do wskazania zależności tendencji od  $g$ , do czego musimy wiedzieć więcej:  $P(a|X, g)/P(a|g)$  (porównaj rys. 4 i 5).

Poszukując tendencji, najpierw definiujemy proces dowolny w możliwie naturalny sposób. Opierając się na powyższych wnioskach, nie potrzebujemy wybierać określonego rozkładu zmienności dowolnej, co zwykle jest wystarczające dla prostego modelu obiektu jako wektora cech dyskutowanego w niniejszym artykule. Jednak dla bardziej złożonego modelu zmienności adaptacyjnej systemu ze strukturą jest wiele parametrów struktury, które

zależą od wcześniejszych etapów procesu i takie uproszczenie może być zbyt duże.

## 2.2. Analiza procesów dowolnego i udoskonalania

### 2.2.1. Doskonałość, informacja i punkt równowagi w maksimum entropii

Zgodnie z powyższą strategią i definicjami zbadajmy, jak wygląda proces dowolny. Rozkład prawdopodobieństwa doskonałości  $b$  opisuje rozkład dwumianowy ( $s$  różnych równoprawdopodobnych wariantów cech, z których jeden jest doskonały) (rys.1.1):

$$P(b) = \binom{m_b}{s-1} (s-1)^{m-b} / s^m \quad (5)$$

Stosując podstawową zależność Shannona na ilość informacji:  $I = -\log p$  gdzie dla  $p$  użyjemy  $P(b)$ , otrzymujemy ilość informacji o ideale  $y^*$ , którą otrzyma obiekt, gdy dowie się, że jego doskonałość wynosi  $b$  (tu w uproszczeniu: dokładnie  $b$ , ogólnie: przynajmniej  $b$ ):

$$I(b) = -\log \left( \binom{m_b}{s-1} (s-1)^{m-b} / s^m \right) \quad (6)$$

Taką wiedzę posiadają obiekty żywe, gdy są nadal żywe po ostatnim teście ich poziomu fitness. W systemie ekonomicznym taką wiedzę daje efekt finansowy. Ogólnie jest to wynik warunku udoskonalania. Jeżeli ideał  $y^*$  interpretujemy jako cel, to  $I(b)$  jest informacją o tym celu. Dla obiektu jest to miara przydatności, czyli wartości informacji. Taka miara jest szczególnie pożądana w opisach biologicznych. Brak tego atrybutu w technicznym pojęciu informacja jest źródłem odmienności jego od pojęcia pospolitego i wynikającej z tego rezerwy przy używaniu go do opisów wyjaśniających. Człowiek wartościuje informację względem celu, za który dla rozważanego tu obiektu uznać należy ideał przystosowawczy  $y^*$ , tj. reprezentowaną przez niego maksymalną szansę przeżycia. Zauważmy, że ilość informacji jaką przedstawia sobą wybór obiektu  $y$  tj.  $I = \log s^m$ , nie zależy od stopnia doskonałości tego obiektu; także ilość informacji związana ze wskazaniem określonej zmiany nie mierzy jej przydatności. Przedstawiona tutaj postać informacji celowej jest ograniczona do rozwijanego tu uproszczonego modelu. Bardziej ogólna definicja informacji celowej wprowadzona jest w I odcinku Szkiću.

Wyrażenie na  $I(b)$  możemy otrzymać także z entropii:

$$I(b) = I_b(Y^*; y) = H(Y^*) - H_b(Y^*|y) .$$

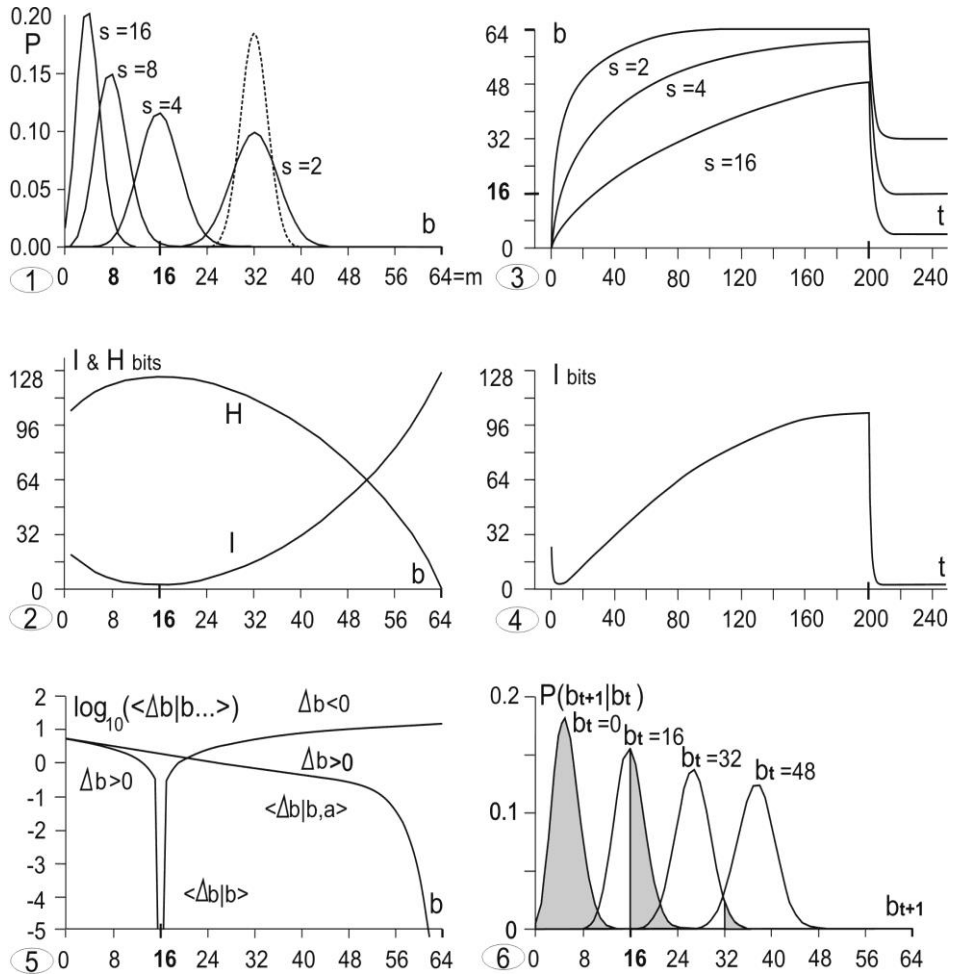
Jeżeli obiekt  $y$  „zna” swoją doskonałość  $b$ , entropia  $H_b(Y^*|y)$  rozkładu

$$P(y^*|y, b) = 1 / \left( \binom{m_b}{s-1} (s-1)^{m-b} \right)$$

jest miarą jego niewiedzy o wyborze ideału  $y^*$  i jest dana równaniem:

$$H(b) = H_b(Y^*|y) = \log \left( \binom{m}{b} (s-1)^{m-b} \right) \quad (7)$$

Zależności (5, 6, 7) pokazane są na rys. 1.1 i 1.2. Mają one ekstremum w punkcie  $b = m/s$ .



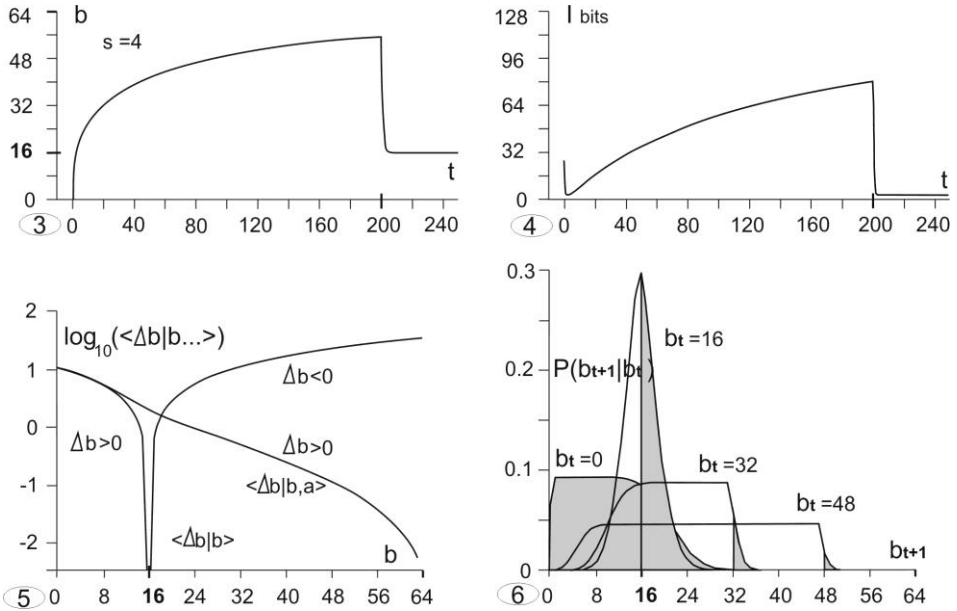
**Rys. 1.** Rozkład prawdopodobieństwa doskonałości (1), entropia i informacja o  $y^*$  (2), średnia zmiana doskonałości (5) w procesie dowolnym i udoskonalania (5), średnia historia doskonałości (3) i informacji o celu  $I(b)$  (4) w procesie udoskonalania (do  $t=200$ ) i dowolnym (od  $t=201$ ) – tendencja wzrostu doskonałości  $b$ . Rozkład prawdopodobieństwa następczej doskonałości po  $b_t$  w procesie dowolnym (6), gdzie zmiany udoskonalające zaznaczono szarym a degenerujące – białym wypełnieniem. Dla (3–6) założono  $P(L)$  jak  $P(b)$  dla  $s=4$  na (1). Na rys. 2.3–6 zastosowano  $P(L) = 1/m$ . Ogólnie dwustanowy typ doskonałości, jedynie na (1) linia kropkowana przedstawia typ wagowy dla dowolnego  $s$ , jednak wtedy wartość  $b$  należy pomnożyć przez  $(s-1)$  (patrz rys. 3).

Proces dowolny może startować z dowolnej wartości doskonałości  $b$ , ale po niedługim czasie oczekiwać należy, że  $b$  będzie zbliżone do wartości  $m/s$ . Rozkład prawdopodobieństwa doskonałości  $b$  ma w punkcie  $m/s$  silne maksimum. Założyliśmy  $m=64$ ; więc na rys. 1.1  $m/s=64/2=32, 16, 8$  i  $4$  odpowiednio dla  $s=2, 4, 8$  i  $16$ . Rys. 1 jest liczony głównie dla  $s=4$ , gdy przedstawiane są zależności dla innych  $s$ , to jest to zaznaczane. Punkt  $m/s$  zachowuje się jak punkt równowagi trwałej (rys. 1.5 i 2.5). Jest to znany proces gubienia informacji i dążenia do maksimum entropii (rys. 1.2). Należy pamiętać, że użyta tu entropia jest czystym pojęciem statystycznym, a z termodynamiką i energią ma związek jedynie historyczny; tam została zauważona. W biologii ciągle jeszcze zbyt często wprowadza się aspekty energetyczne i termodynamiczne, gdy do wyjaśnienia wystarczają własności statystyczne.

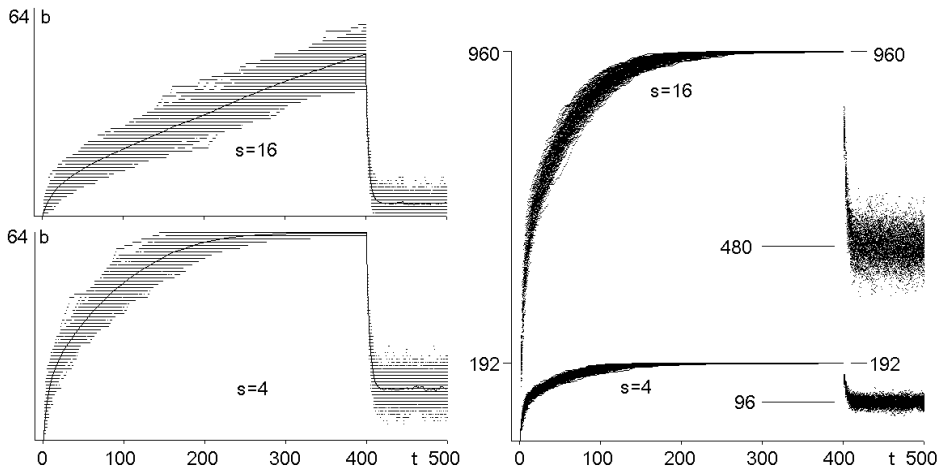
Oznaczmy przez  $L$  długość zmiany, tj. liczbę zmienionych sygnałów w zmianie obiektu. Aby pokazać na rys. 1.3–6 i 2.3–6 rozkład prawdopodobieństwa następnej doskonałości i historii  $b$  oraz  $I(b)$ , trzeba było założyć jakiś rozkład  $P(L)$ , np. niech każda cecha obiektu zmienia się z prawdopodobieństwem  $1/4$ , co daje ten sam rozkład (5) także dla  $L$ , pokazany na rys. 1.1 dla  $b$  i  $s=4$ . Przy takim założeniu obliczone są historie: rys. 1.3 – średniej doskonałości  $b$ , i rys. 1.4 – średniej informacji  $I(b)$ . Rosną one tu w procesie udoskonalania przez  $t=200$  zmian, po czym warunek udoskonalania jest wyłączany i od zmiany 201 mamy proces dowolny, w którym w kilku krokach  $b$  oraz  $I$  spadają do poziomu równowagi. Pokazuje to, że znacznie trudniej jest coś udoskonalic, niż zepsuć, nawet dla  $s=2$ . W tym przykładzie widać najbardziej podstawowe różnice między procesem udoskonalania a procesem dowolnym. Analogiczny rys. 2 wyliczony jest dla  $P(L) = 1/m$ .

Rozkład  $P(L)$  założony dla rys. 1.3–6 jest akademicki, bez związku z opisywaną rzeczywistością, jednak najlepszy ze znalezionych bez dodatkowych badań. Bardziej prosty,  $P(L) = 1/m$ , oparty na jednakowym prawdopodobieństwie dowolnego  $L$  (rys. 2) daje wyraźne nienaturalne efekty, szczególnie na rys. 2.6. W następnym odcinku Szkicu omawiane będą podstawy rozkładu z dwoma pikami – lewym dla małych zmian (uporządkowanych) i prawym – dla wielkich zmian (chaotycznych), oraz z przerwą pomiędzy tymi pikami (głównie: Gecow 2008a; 2009a; e; 2011). Rozkład ten przybliżony został użyciem co drugi raz 1 lub 32 sygnałów wybieranych losowo z 64 o losowych wartościach. Zastosowano go w symulacjach pokazanych na rys. 3 dla  $s=4$  i  $16$  i obu typów doskonałości – dwustanowej i wagowej. Rys. 3 odpowiada rys. 1.3 i 2.3, wszystkie one są jakościowo podobne mimo odmiennych założeń dotyczących  $P(L)$ . Zauważmy, że używając częściej małych zmian lub  $b$  wagowego łatwiej osiąga się większe  $b$ . Dla  $b$  wagowego jest znacznie więcej poziomów doskonałości  $(s-1)*m+1$ , dlatego maksimum  $b$  wynosi 192 dla  $s=4$  i 960 dla  $s=16$ . Poziom równowagi, zgodnie z kropkowaną linią na rys. 1.1, jest w połowie zakresu  $b$ .





**Rys. 2.** Zależności jak na rys. 1 ale dla założonego rozkładu  $P(L)=1/m$ , najprostszego możliwego, jednak bez jakościowych podstaw, co szczególnie widać na (6).



**Rys. 3.** Tendencja wzrostu doskonałości typu dwustanowego z lewej i wagowego z prawej. Symulacje po 100 procesów dla  $s=4$  i 16.  $P(L)$  to 1 lub 32 cechy co drugi raz z 64, określone losowo, więc  $L$  może być dowolnie ale  $\leq 32$ .

### 2.2.2. Degeneracja

Każdy proces zmienności przypadkowej (dowolny), sprowadzając  $b$  do stanu równowagi musi zmniejszać ilość informacji celowej („gubi ją”) i zwiększać entropię („bałagan”). Zjawisko to dla udoskonalonego obiektu nazwijmy degeneracją. Jest ona równoważna drugiej zasadzie termodynamiki, jednak akcentuje spojrzenie na to zjawisko jako na utratę informacji celowej. Procesy w stronę przeciwną są bardzo nieprawdopodobne, a jednak one nas interesują (rys. 1.6 i 2.6 dla większych  $b_t$ , część szara).

Prędkość powrotu do stanu równowagi należałoby mierzyć ilością informacji celowej traconej średnio (z kierunkiem: średni przyrost informacji celowej) na jedną zmianę:

$$E(\Delta I(L_t, b_t)) = \sum_{b_{t+1}=0}^m (I(b_{t+1}) - I(b_t)) P(b_{t+1} | L_t, b_t)$$

gdzie:

$$P(b_{t+1} | L_t, b_t) = \sum_{\gamma=0}^{L_t} \frac{\binom{b_t}{L_t-\gamma} \binom{m-b_t}{\gamma}}{\binom{m}{L_t}} \binom{\gamma}{i} \frac{(s-1)^{\gamma-i}}{s^\gamma}$$

$$i = b_{t+1} - b_t + L_t - \gamma$$

$$I(b) = -\log \left( \binom{m}{b} \frac{(s-1)^{m-b}}{s^m} \right) \quad \text{patrz wzór (6)}$$

Tu do wyprowadzania średniej  $E(\Delta I(L_t, b_t))$  jak i jej elementów  $P(b_{t+1} | L_t, b_t)$  i  $I(b)$  wystarczą dotychczasowe założenia modelu, nie trzeba zakładać  $P(L)$ . Jak się okazuje, prędkość degeneracji zależy od stopnia wychylenia od stanu równowagi, (który związany jest z doskonałością  $b$ ), długości zmian  $L$ , oraz  $s$  – ilości równoprawdopodobnych sygnałów.

Ograniczmy nasze zainteresowanie do odcinka  $m/s < b < m$ , tzn. większej zgodności z celem niż w stanie równowagi. Na tym odcinku prędkość degeneracji wygodniej mierzyć średnią wartością  $\Delta b$  przyrostu doskonałości  $b$ :  $\Delta b_t = b_{t+1} - b_t$ . Jest ona prościej opisana i bliższa pozostałym parametrom modelu oraz intuicji.

$$E(\Delta b(L, b)) = \sum_{\Delta b=-b}^{m-b} \Delta b p(\Delta b | L, b), \text{ gdzie oczywiście } p(\Delta b | L, b) = P(b_{t+1} | L_t, b_t)$$

Dla każdej dowolnej długości zmian  $L$ , przy  $b > m/s$  zachodzi  $E(\Delta b(d, b)) < 0$ , czyli zjawisko degeneracji zachodzi niezależnie od wyboru rozkładu  $P(L)$ . Także prawdopodobieństwo zmiany  $b$  o  $\Delta b > 0$  jest na dyskutowanym odcinku mniejsze od prawdopodobieństwa zmiany o  $\Delta b < 0$ , a różnica ta szybko rośnie ze wzrostem  $b/m$ . Przedstawia to rys. 1.5, gdzie pokazana w skali logarytmicznej jest średnia  $\Delta b$  dla procesu dowolnego i udoskonalania (dla  $s=4$ ,  $m=64$  i dwumianowego rozkładu  $P(L)$ , oraz rys. 2.5).

### 2.2.3. Tendencja wzrostu doskonałości $b$

Wychylenie ze statystycznego punktu równowagi (tj.  $b=m/s$  dla dwustanowego typu  $b$ ) i monotoniczny wzrost doskonałości w procesie udoskonalania (ewolucji adaptacyjnej) pokazany na rys. 1.3, 2.3, 3, jest prostą konsekwencją warunku udoskonalania definiującego proces udoskonalania.  $P(\Delta b \geq 0 | \Delta b)$  jest trywialne, bo założone, ale to pierwsza znaleziona tendencja w postaci  $P(a|X)$  (rozdział 2.1.3, równanie (3)). Rozważając postać  $P(a|X, g)$  widać, że  $P(a|\Delta b, b)=1$  dla  $\Delta b \in [0, m-b]$ , i  $P(a|\Delta b, b)=0$  dla reszty  $\Delta b \in [-b, -1]$ .

Wzrost  $b$  automatycznie (rys.1.1 i 1.2) tłumaczy się na wzrost informacji o celu  $I(b)$  i na spadek entropii  $H(b)$ , (rys. 1.4 i 2.4), ale wszystkie te trzy postacie tendencji dotyczą przyrostów, bo wymienione parametry opisują stany, a nie zmiany.

Informacja  $I(b)$  i entropia  $H(b)$  mają głębsze znaczenie interpretacyjne niż doskonałość (fitness  $b$ ), ale  $b$  jest prostsze do badania i dla intuicji, więc pozostaniemy przy śledzeniu tylko  $b$  pamiętając, że w rozważanym modelu są one jednoznacznie związane.

Role warunku adaptacji (udoskonalania) i mechanizmu równowagi w procesie dowolnym widoczne są na rys 1.6 i 2.6, gdzie w rozkładach prawdopodobieństwa następnej doskonałości  $b_{t+1}$  po  $b_t=0, 16, 32$  i  $48$  zaznaczone są na szaro przypadki akceptowane przez test warunku udoskonalania. Dla  $b_t=48$  na rys. 1.6 przypadków akceptowanych już prawie nie widać. Tą dysproporcję należy skojarzyć z omawianą w poprzednim rozdziale degeneracją. Dla większych doskonałości  $b$  (fitness) prawdopodobieństwo akceptacji zmiany przez test warunku udoskonalania jest dużo mniejsze (przyczyna 1) (rys. 1.6 i 2.6) i znacznie mniejszy średni przyrost doskonałości dla zmian zaakceptowanych (przyczyna 2) (rys. 1.5 i 2.5). Odpowiada to trywialnej obserwacji, że trudniej jest (drożej i wolniej) udoskonalić coś, co jest lepsze. Znacząco to, że nasz prosty model opisuje rzeczywistość poprawnie.

### 2.2.4. Tendencja małej zmiany

Rys. 4 przedstawia  $P(a|L, b)$  – prawdopodobieństwo spełnienia warunku udoskonalania przez zmianę o parametrach  $L$  i  $b$  (typu dwustanowego).

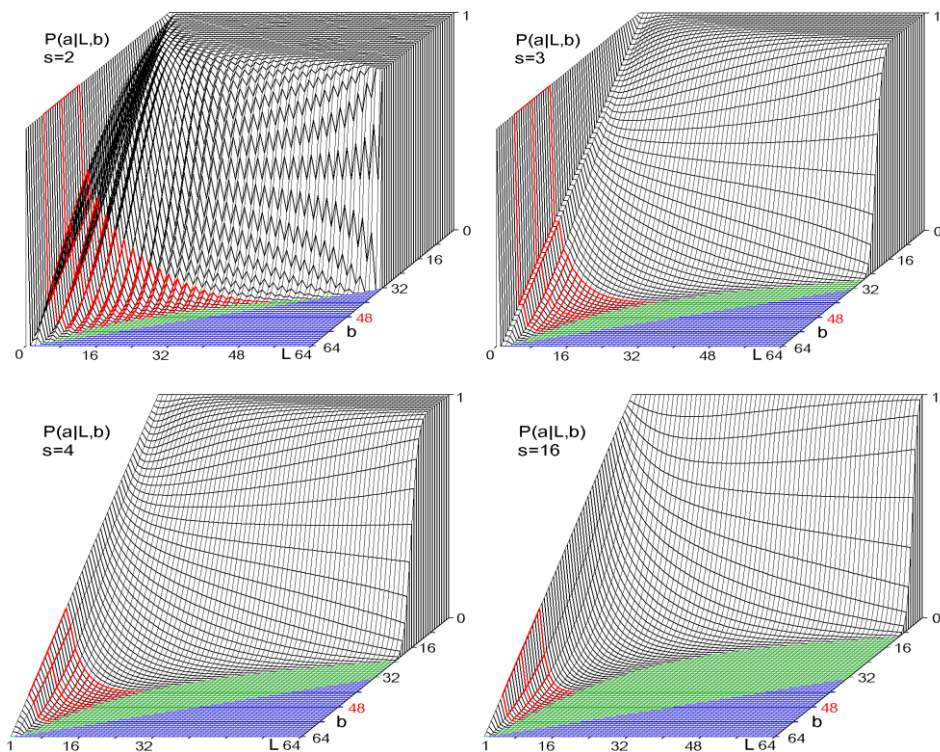
$$P(a|L, b) = \sum_{f=\max(L/2, L-b)}^{\min(L, m-b)} \binom{m-b_f}{f} / \binom{m_L}{f} \sum_{j=L-f}^f \binom{f}{j} (s-2)^{f_j} / (s-1)^f, \quad (8)$$

gdzie  $j = b_{t+1} - b_t - f$ .

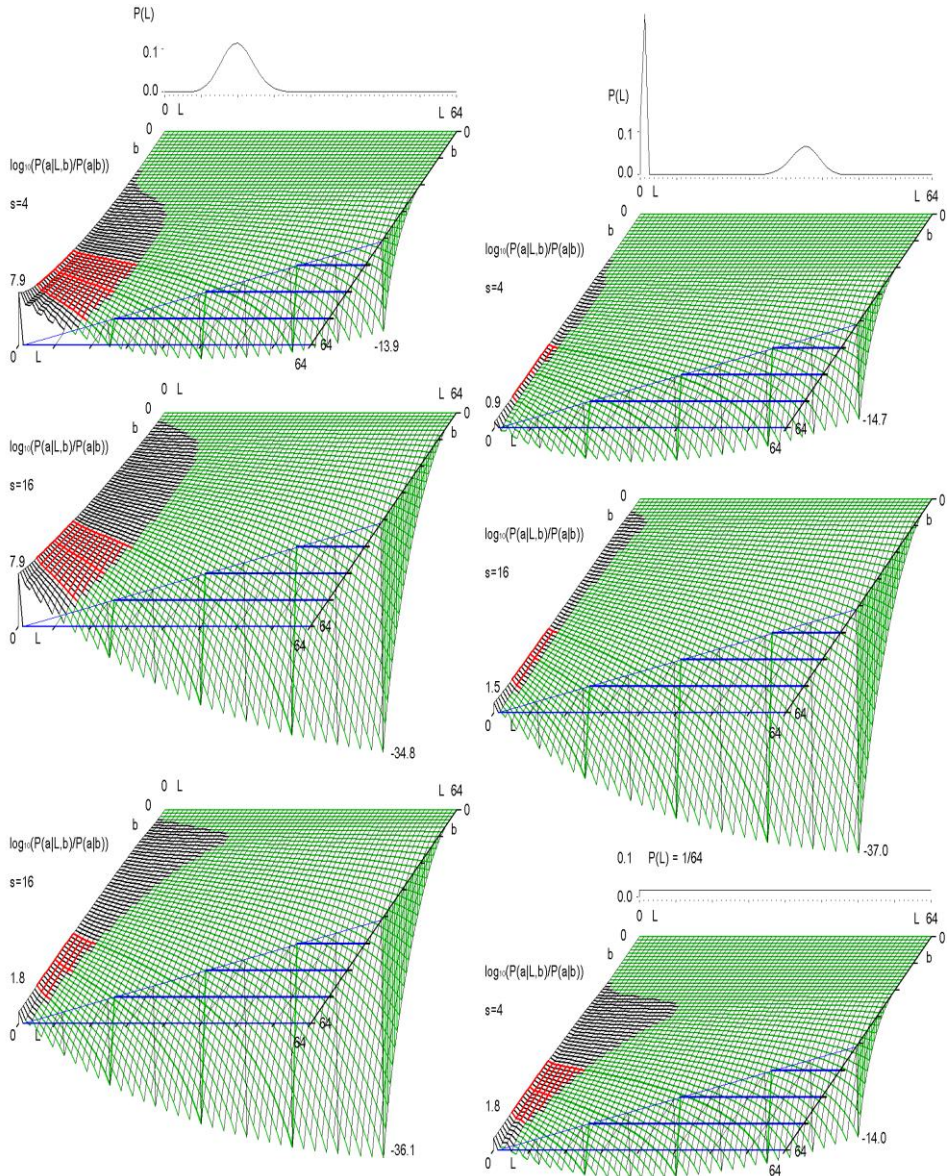
Dla interesującej większej doskonałości  $b$ , tylko bardzo małe zmiany (małe  $L$ ) są akceptowane ze znacząco większym od zera prawdopodobieństwem. To jest tendencja małej zmiany. Jej istotą jest ogólnie dostrzegana prawidłowość głosząca, że do ewolucji adaptacyjnej (procesu udoskonalania)

wchodzą znacznie mniejsze zmiany, niż są zwykle proponowane przez zmienność losową. Zmiany większe są zwykle wycinane przez test warunku adaptacji (udoskonalania), czyli eliminowane przez mechanizmy darwinowskiego doboru naturalnego.

Tendencja małej zmiany nasila się, gdy rośnie  $s$  lub  $b$ ; do tego wniosku i rys. 4 nie trzeba zakładać  $P(L)$  jak dla rys. 1.3–6 i 2.3–6. Rys. 4 przedstawia tendencję małej zmiany w postaci  $P(a|X,g)$  (tu  $X=L, g=b$ ) – dla stałego  $b$  i różnych  $L$  prawdopodobieństwo  $P$  jest także różne. Rys. 5 przedstawia tę tendencję dokładniej, w formie  $P(L|b,a)/P(L|b)=P(a|L,b)/P(a|b)$ , wraz z zależnością od zaawansowania procesu wskazanego parametrem  $b$ , ale do tego trzeba już było założyć określone rozkłady  $P(L)$  by uzyskać  $P(a|b)=\sum_L P(a|L,b)P(L|b)$ .

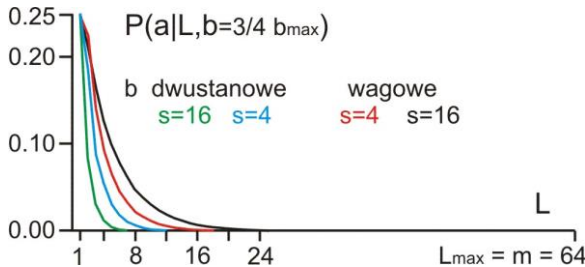


**Rys. 4.** Tendencja małej zmiany jako prawdopodobieństwo akceptacji  $P(a|L,b)$  dla  $s=2, 3, 4$  i  $16$  oraz dwustanowy typ doskonałości. Zaznaczono zakres większej doskonałości od  $b=40$  do  $56$ , szczególnie  $b=48$  jako typowy w rozważaniach. W trójkącie  $(L,b): (1,64),(64,64),(64,32)$   $P=0$  dokładnie. Obok po lewej i w kierunku mniejszych  $b$  duży obszar ma  $P$  prawie zerowe ( $<0.2\%$ ). Dla większych  $s$  lub  $b$  tendencja jest silniejsza – tylko zmiany z bardzo małym  $L$  (długość zmiany) mogą być akceptowane. Dla  $s=2$  i  $3$  oś  $L$  pokazano od  $0$ .



**Rys. 5.** Tendencja małej zmiany w dokładnej postaci  $P(a|L,b)/P(a|b)$  w skali logarytmicznej z podstawą 10, z zależnością od doskonałości  $b$  (typ dwustanowy) jako stopnia zaawansowania procesu.  $P(a|L,b)$  przedstawia rys.4, ale do obliczenia  $P(a|b)=\sum_L P(a|L,b)P(L|b)$  trzeba założyć określone rozkłady  $P(L)$ : 1 – rozkład dwumianowy wynikający z założenia jednakowego ( $=1/4$ ) prawdopodobieństwa zmiany każdego sygnału  $y_i$ . 2 –  $P(L)=1/64$  – jednakowe prawdopodobieństwo każdego  $L$ . 3. Jeden lub 48 sygnałów (co drugi raz) przyjmuje wartość losową, co przybliża rzeczywisty rozkład w bardziej złożonym modelu ze strukturą (głównie: Gecow 2008a; 2009 a; e; 2011).

Rys. 4 i 5 dotyczą doskonałości dwustanowego typu. Dla doskonałości typu wagowego tendencja małej zmiany jest słabsza. Porównanie  $P(a|L,b)$  dla  $b=3/4 b_{\max}$  oraz  $s=4$  i 16 przedstawia rys. 6.



**Rys. 6.** Porównanie ekspresji tendencji małej zmiany dla  $b=3/4$  maksymalnego  $b$  dla doskonałości typu dwustanowego ( $b=48$ ) i wagowego (patrz rys.3) oraz  $s=4$  i 16. Wzrost parametru  $s$  daje przeciwny efekt w sile tendencji dla obu typów doskonałości.

Przyglądamy się zjawiskom dla istotnie większej doskonałości niż w punkcie równowagi procesu dowolnego, ale nie za dużej, by być na pochyłości fitness (Szhmalhauzen 1975, 306; Eldredge, Gould 1972) w krajobrazie Wrighta.<sup>6</sup> Ma to być model stanu, w którym gromadzone są nowe zmiany, czyli nie w fazie stasis, gdzie zmienność prawie zanika, a w fazie doboru kierunkowego (napędzającego) o dużej presji środowiska. Dlatego wybieramy  $b$  równe  $3/4$  maksymalnego  $b$ . Na wielkość akceptowanej zmiany ma wpływ także przedział degeneracji dozwolonej, istotnie większy podczas eksplozji ilościowej, dyskutowany w rozdziale 4. Jego znaczenie wynika właśnie z dopuszczenia szczególnie dużych (względnie) zmian, normalnie niedostępnych.

Fisher (1930) w modelu FGM rozważał różną liczbę cech (nasze  $m$ ) i stwierdził, że dla większego  $m$  trudniej udoskonalić obiekt poprzez zmiany losowe. Obecnie to spostrzeżenie znane jest pod nazwą „koszt złożoności” (Orr 2000). Bardziej podobne do tendencji małej zmiany jest spostrzeżenie Fishera, że nim mniejszy efekt, tym większa szansa, że zmiana jest „dobra”, a w granicy, dla minimalnej zmiany szansa ta wynosi 50% i nie zależy od stopnia zbliżenia do optimum. W FGM zastosowanie ciągłej, rzeczywistej miary cechy utrudnia analizę zależności od stopnia zbliżenia do optimum.

### 2.2.5. Znaczenie tendencji małej zmiany

Tendencja małej zmiany jest znana, ale została nazwana i identyfikowana jako określona prawidłowość dopiero w ramach niniejszego podejścia. Ogólnie wiadomo, że ewolucja biologiczna wymaga małych zmian. Można zna-

<sup>6</sup> Jest to zależność fitness od parametrów opisujących własności obiektu. W naszym modelu fitness z grubsza zastępowane jest przez  $b$ , ale jest on za prosty nawet w wersji wagowej, by tak modelować parametry własności, aby powstały na takim wykresie górkę i dolki. Żaden z przedstawianych wykresów nie odpowiada krajobrazowi Wrighta.



leżć to m.in. np. u Kauffmana (1993) jako podstawę poszukiwań. Darwin użył takiego oczekiwania (Szmalski 1962, 87) jako oczywistości przy wyjaśnianiu przyczyn dodawania terminalnego (co zostało zapomniane). W biologii pojęcie wielkości zmiany jest bardzo nieokreślone i zwykle używane względem jakiejś niezdefiniowanej normy. Jak widać na przykładzie FGM, zdarzyły się podobne do tendencji małej zmiany wnioski z ogólnych i ścisłych modeli, ale pozostały gdzieś na uboczu nie wchodząc do wiedzy jako wykazany i nazwany fakt. Obecność takiego wniosku z określonym umocowaniem jest bardzo potrzebna, dobrze nadaje się do tej roli przedstawiony tu prosty, ale ogólny model z jasnymi odniesieniami interpretacyjnymi.

W moim podejściu tendencja małej zmiany ma szczególnie duże znaczenie. Już w I odcinku *Szkicu* (I.3.4) pojawiło się naturalne kryterium tożsamości, które jest podstawą systemu pojęć i wywodu, w tym rozumienia samego ewoluującego obiektu. Polega ono na braku dużych zmian w ciągu ewolucji danego obiektu, ale dopuszcza małe zmiany konieczne do dalszej ewolucji (dalszego zbierania informacji celowej). Tendencja małej zmiany nie tylko wspomaga ten proces, ale leży u podstaw jego istnienia. Przedstawiany model pomaga zrozumieć, na czym to zjawisko polega, gdyż w tym modelu nie trzeba było zakładać tego kryterium dla ewoluującego obiektu – to zjawisko zaistniało bez jego zakładania, a wynikało z warunku adaptacji (udoskonalania). Należy tu pamiętać, że rozważamy obiekty o zaawansowanym wychyleniu doskonałości ze stanu równowagi procesu dowolnego (tj. z równowagi abiotycznej). Dla takich obiektów tendencja małej zmiany (wyboru mniejszych zmian) jest na tyle radykalna (jak to widzieliśmy), że praktycznie nie dopuszcza zmian średnich i dużych, a dopuszcza jedynie zmiany naprawdę małe.

Tendencja małej zmiany jest pierwszą nietrywialną (choć prostą) formalną tendencją. Na jej pośrednictwie opierają się wszystkie tendencje strukturalne badane w modelu ze strukturą, które są jednym z głównych celów całego podejścia. Do nich powrócę w dalszych odcinkach *Szkicu*, kiedy już przygotowana zostanie odpowiednia podstawa do ich dyskusji. Wśród tych podstaw jest wskazanie parametrów tego modelu ze strukturą, a to znowu opiera się o problem małych zmian, niezbędnych do ewolucji. Ten temat wiąże się ze znaną hipotezą „życie na granicy chaosu”, wymaga on całego następnego odcinka *Szkicu* (patrz też II.2.3).

Model ze strukturą to inaczej model ewolucji adaptacyjnej złożonej funkcjonującej sieci uwarunkowań (głównie: Gecow 2005a; b; 2008a; 2009a; b; d). Te uwarunkowania, jako aktywne związki przyczynowe wymagają sieci skierowanej. Przykładem takich sieci są sieci Kauffmana (Kauffman 1993; Gecow 2009f). Model ten opisuje np. organizm jako fenotyp, ontogenezę jako proces jego rozwoju, a także większe przedsięwzięcia człowieka, które też są w złożony sposób uwarunkowane. Zawiera on w sobie opisany wyżej

prosty model bez struktury. Jak już wspomniano w (II.2), y staje się w nim wynikiem funkcjonowania struktury ocenianym przez warunek udoskonalania. W ten pośredni sposób oceniane i ewentualnie eliminowane są zmiany struktury, co ogólnie przenosi efekt tendencji małej zmiany na parametry zmian struktury, dając tendencje strukturalne. Pośrednictwo tendencji małej zmiany daje wyjątkową szansę uproszczenia oceny zmiany funkcjonowania, która powinna dotyczyć atraktora wyniku (Gecow 2009d). W uproszczonym algorytmie „reversed annealed” można było oceniać statyczny wynik. Do podstawowych tendencji strukturalnych należą dodawanie terminalne, zmienność terminalna, wzrost, zgodność kolejności funkcjonalnej i historycznej<sup>7</sup> (Gecow 2005a; 2005b; 2009b). Odpowiadają one znanym, klasycznym, ale wciąż bardzo kontrowersyjnym prawidłowościom w ewolucji ontogenezy: dodawaniu terminalnemu Weismanna (1904), zmienności terminalnej Naefa (1917) i rekapitulacji Haeckla<sup>8</sup> (1866). W tym zakresie teoria praktycznie nie posunęła się do przodu od około 70 lat, obecny jej poziom można określić jako skrajnie naiwny (z powodu postępu wiedzy o systemach złożonych, obowiązuje wyjaśnienie zmienności terminalnej de Beera (1940)), a temat nie znajduje odbiorców, gdyż jest na towarzyskim indeksie (Gecow 2010a; 2014a). Nie jest to bowiem zadanie dla biologów w obecnym znaczeniu tego terminu, a poza biologią zadanie jest mało zrozumiałe. Wśród bardziej zaawansowanych tendencji strukturalnych jest osłanianie, omówione wstępnie w niektórych aspektach w II odcinku *Szkicu* (II.4). Osłanianie tak, jak pozostałe tendencje strukturalne, opiera się na tendencji małej zmiany. Przytaczam tu tendencje strukturalne i ich biologiczne znaczenie, aby było widać, po co rozważany jest tak dokładnie ten prosty model bez struktury.

### 3. DŁUGOŚĆ ZAPISU INFORMACJI CELOWEJ

Rozpoczęliśmy rozważania od zauważenia w (I.2.1), że obiekt posiada (zapisaną) w swojej budowie fizycznej informację: jak reagować na zadane warunki zewnętrzne – środowisko. Jeżeli budowa ta została dobrana ze względu na jakieś kryterium owej reakcji, to jest to zapis informacji celowej.

<sup>7</sup> Kolejność funkcjonalna to z grubsza kolejność przekształcania sygnałów przez sieć. Można ją w przybliżeniu określić jako odległość do wyjść systemu. Zmienność zadana ma jednakowe prawdopodobieństwo dodania i odjęcia węzła sieci w dowolnym miejscu sieci, ale po eliminacji warunkiem udoskonalania więcej jest zaakceptowanych dodawań, niż odejmowań (wzrost), więcej zmian jest w pobliżu wyjść systemu, niż daleko od wyjść (zmienność terminalna), w pobliżu wyjść przeważa dodawanie, a głębiej odejmowanie (dodawanie terminalne), kolejność funkcjonalna i historyczna (czas dodania węzła) są statystycznie podobne.

<sup>8</sup> Rekapitulacja filogenezy w ontogenezie znaczy, że podczas rozwoju osobniczego od zygoty do fenotypu – postaci dorosłej czynnej w środowisku, pojawiają się stadia podobne do postaci dorosłych dalekich przodków, a kolejność tych stadiów odpowiada kolejności w ewolucji (filogenezie). Była to najbardziej kontrowersyjna koncepcja w biologii. Obecnie rekapitulacja uznawana jest za koncepcję historyczną, już przewyżczoną (z powodu braku wyjaśnienia, nie mylić z brakiem podstaw), do której nie wypada powracać.



W (I.3.1.1) konstrukcja, która mogłaby być samoistna, automatycznie zaznaczała znaną informację celową do celu „istnieć nadal” przez samo istnienie nadal. Jest to wystarczające dla mechanizmu procesu, ale nie dla obserwatora by mógł rozróżnić w krótkim czasie, co zostało tak zaznaczone. Nas, jako obserwatorów, interesują specyficzne cechy obiektów, które długo podlegały takiemu efektywnemu procesowi zbierania informacji celowej. Z (I.3.6.6) wiemy jednak, że nie jest to ilość zebranej informacji celowej. Ilość informacji celowej związana z efektywnością wyrażoną np. parametrem malthuzjańskim  $r$  lub współczynnikiem reprodukcji netto  $R_0$ , dewaluuje się na barierze pojemności środowiska (patrz rozdział 4). Może jednak to być zapis informacji celowej, który na tej barierze nie ulega zmianie.

Długość zapisu informacji celowej jest główną cechą rzucającą się nam w oczy, na jej podstawie odróżniamy obiekty zaznaczone przez konstrukcję dekodującą z (I.3.1.1) jako spełniające cel lepiej, od nie zaznaczonych, czyli obiekty żywe od nieożywionych. Nasz sposób patrzenia na świat podporządkowany jest zdolności osiągnięcia celu – do tego zadania wyewoluował nasz mózg. Widzimy więc w budowie obiektów żywych celowość do celu „istnieć nadal”, szczególnie w obliczu delikatności tych obiektów wynikającej z ich chaotycznej dynamiki rozważanej w następnym odcinku. Tej celowości brak poza procesem życia, co jest podstawą całego podejścia (I.1.2). Obserwowana celowość w budowie i funkcjonowaniu to nie tyle ilość informacji celowej, która jest parametrem całościowym trudnym do oszacowania (gdzie widzimy sam obiekt) i związanym ze skutecznością informacji celowej spadającą na barierze pojemności środowiska; co wielość współdziałających elementów specyficznych mechanizmów regulacyjnych, których doraźne skutki łatwo przewidzieć. Układają się one w złożoną sieć uzależnień. Wielkość tej sieci i ścieżek regulacyjnych to właśnie długość zapisu informacji celowej. Wskazana w odcinku I *Szkicu* definicja życia dotyczy procesu życia, a nie obiektu żywego. Oczekiwana operacjonalizacja (II.1.2) tej definicji pozwalająca zidentyfikować obiekt żywy (ale już zaawansowany) może opierać się właśnie na długości zapisu informacji celowej. Jest to główny parametr tworzący widoczną wyjątkowość obiektu „fantastycznego” z (I.3.6.3) w dyfuzji poziomej. (Dyfuzja pozioma – o stałym  $W_1$ , wynika ze zwolnienia z ograniczeń rozkładu abiotycznego przez kompensację degeneracji dostateczną prędkością rozmnażania tak, że  $R_0=1$ . Prowadzi ona do obiektów o szczególnie małym prawdopodobieństwie w tym rozkładzie, nazwanych „fantastycznymi”.)

### 3.1. Skuteczność zapisu informacji celowej, informacja typu „żeby-gdyby”

Zanim przejdę do bardziej formalnego opisu, chciałbym wskazać zagadnienie na poziomie intuicyjnym. Zazwyczaj w urządzeniach wiele elementów musi działać równocześnie. Awaria dowolnego z nich powoduje nieskuteczne działanie całości, mimo, że pozostałe elementy nie są uszkodzone. Naprawa to zwykle znacznie mniej pracy, niż zbudowanie urządzenia od początku. Można więc od dużej ilości informacji celowej odjąć mało (zapisu) i dostać nic, a potem (naprawa) do tego nic dodać mało (czego?) i dostać dużo (czego?). W wielu urządzeniach możemy zaobserwować lepszą lub gorszą ich pracę, uważaną jednak za jeszcze skuteczną.

Jak widać, w powyższym sformułowaniu trzeba rozróżnić zapis i skuteczność informacji celowej. Ilość informacji celowej wprowadzona w (I.2.4) niewątpliwie opisuje jej skuteczność, natomiast jej zapis wydaje się mieć większe znaczenie interpretacyjne – jego widać i widać w nim celowość. Nie był on dotąd mierzony, jedynie w (I.3.6.6) wspomniane było o jego długości jako o złożoności. Po awarii zapis pozostaje w dużej części zachowany, ale przestaje być zapisem aktualnie istniejącej informacji celowej, bo już nie daje celu.

Zjawiska te zrozumiałe są w strukturze szeregowej, gdzie niemal każda zmiana powoduje utratę niemal całej informacji celowej, jednak zapis byłej informacji celowej w znacznej części nadal pozostaje bez zmian. Tą bezsprzecznie dużą ilość jakiejś innej informacji celowej, pozostałej, ale już nie aktywnej celowo, nie możemy zaniedbać ze względów jakościowej odmienności obiektu bez niej. Zapis ten nie informuje już, co zrobić, żeby uzyskać cel; nie jest już skuteczny. Byłby on zapisem informacji celowej, gdyby nie ta mała zmiana. Informacja celowa może być określona jako informacja typu „żeby (osiągnąć cel)”. Rozważany nieskuteczny, lub inaczej: martwy zapis informacji celowej należałoby wtedy nazwać informacją typu „żeby-gdyby”.

### 3.2. Długość zapisu jako skomplikowanie, informacja celowa budowy

Aby uchwycić ten ważny interpretacyjny aspekt, spróbujmy opisać ów martwy zapis informacji celowej bazując na modelu bez struktury przedstawionym w rozdziale 2. Tu w jednym obiekcie opisywać będziemy dwa aspekty jednocześnie, do każdego osobno stosując ten sam model.

Niech agregat podlegający udoskonalaniu, o osiągniętej już znacznej doskonałości  $\mathbf{b}$  (litera łacińska), składa się z  $\mu$  automatów (litera grecka odpowiadająca  $\mathbf{m}$  – liczbie sygnałów w wyniku  $\mathbf{y}$  i w jego wzorcu  $\mathbf{y}^*$ ). Założmy, że prawdopodobieństwo zmiany akceptowalnej jest znikome, (jak to wynika

z rozważań z rys. 1) i dla celów tego rozdziału całkiem pomijalne. Znaczący to, że dla utrzymania obecnej doskonałości  $b$ , tj. skuteczności zapisu informacji celowej, każdy z tych automatów praktycznie musi pozostać na swojej pozycji. Niech zbiór możliwych automatów (w zasadzie - funkcji) ma  $\sigma$  elementów (grecki analog  $s$  - liczby wariantów sygnału), z których każdy ma jednokową liczbę wejść i wyjść (tak, że mogą podmieńać się nawzajem). Dla  $K=k=2$  i  $s=4$  mamy  $\sigma=16^{16}$ . Zaniedbując strukturę połączeń (co zbliżone jest do założenia struktury szeregowej) otrzymujemy dobrze znaną sytuację. Skutecznie działający agregat jest wzorcem do ułożenia  $\mu$  automatów jak puzzle w określonych miejscach, jak sygnały w  $\mathbf{y}$ . Dla ustalenia uwagi niech  $\mu=100$ . Mając ułożone już  $\beta$  (odpowiadające doskonałości  $\mathbf{b}$  - liczbie zgodnych ze wzorcem sygnałów) np. 80 ze 100 automatów (przy dowolnej nie trafnej reszcie) wynik działania agregatu (mierzony przez  $b$ ) jest raczej bliski abiotycznej równowadze statystycznej z (I.3.6.3 i tu rys. 1), czyli częściowy zapis informacji celowej jest całkiem nieskuteczny. Jednak  $\beta$  - doskonałość tego zapisu (nie jego treści -  $b$ ) jest już znaczna, podobnie związana z nią informacja celowa  $\mathbf{I}(\beta)$  (porównaj wyrażenie (6) w rozdziale 2.2.1) w takim wyniku układania. W spontanicznym procesie zbierania informacji celowej takie układanie czegoś celowego, co zadziała i będzie ocenione później nie występuje, to domena głównie człowieka, ale niepełny zapis może pojawić się (jak w rozdziale 3.1 i 4) w wyniku awarii wcześniej przetestowanej i zapisanej informacji celowej. Dla odróżnienia od informacji celowej funkcjonowania  $\mathbf{I}(\mathbf{b})$  w wyniku działania agregatu, którą wiążemy ze skutecznością zapisu, tą nową informację celową  $\mathbf{I}(\beta)$  nazwijmy informacją celową budowy. Do dalszych rozważań, podobnie jak przedtem, posługiwać się będziemy  $\beta$  - doskonałością (w modelu opisanym greckimi literami), czyli liczbą poprawnie ułożonych automatów, którą nazwijmy skomplikowaniem jedynie na potrzeby tego rozdziału 3, jako specyficzną postać bardzo ogólnego i wieloznacznego terminu „złożoność”. Ogólnie pozostaniemy przy terminie długość zapisu informacji celowej. Należy tu zauważyć, że omawiane pojęcia, choć mają istotne znaczenie interpretacyjne, to uchwycenie tych wielkości w praktyce wydaje się mało realne. Można wyliczyć kilka konkretnych własności danego obiektu, ale wskazanie ich osobnych zapisów rzadko jest możliwe. W naturalny sposób występuje w zapisie genetycznym, sporo pomaga modularność, jeżeli jest obecna, ale zwykle zapis ten jest zmieszany jak w sieci neuronowej. Ideał, jaki spotykamy w programach komputerowych tworzonych przez człowieka, jest skrajnością. Ten problem rozważa Chaitin (1987) w swojej algorytmicznej teorii informacji i złożoności.

Jak widać, przy użyciu  $\mathbf{I}(\beta)$  możemy mierzyć ilość informacji typu żeby-gdyby. Skomplikowanie to w zasadzie długość zapisu informacji celowej funkcjonowania bez żądania skuteczności tego zapisu. W tym sensie wygodnie jest nie łączyć  $\beta$  z konkretnym wzorcem zawierającym akurat  $\mu$  automatów. W naszej dyskusji, która ma charakter zgrubnego rozpoznania

pewnych zagadnień takie u Wspólnienie zbliżonych wielkości istotnie ułatwia analizę.

Ogólnie informacja celowa to wyróżnienie przyczyn dających zadany skutek. Tu ów cel, tj. zadany skutek, jest znany: jest to wzorcowy agregat o skutecznym działaniu. Czym jednak są owe przyczyny i przekształcający kod? Czyli co układa automaty tak, by skutecznie działały w postaci agregatu? Wiemy już, jak powstawał obiekt, którego modelem jest agregat i skąd wziął się cel działania agregatu, a więc i agregat – wzorzec. Jak wyżej zauważono, nie występuje proces celowego układania coraz dalej, a jedynie psucia czegoś, co już okazało się skuteczne. Wzrastanie długości zapisu wymaga, by niemal każdy kolejny krok był oceniony jako przynajmniej nie pogarszający (z dokładnością dyskutowaną w rozdziale 4). Pytanie ma jednak szczególną formę, wynikającą z pozycji pytającego, którym jest człowiek. Sugeruje ono obecność konstruktora, z którym nawet w powyższym rozumowaniu wygodnie jest nam się identyfikować.

To bardzo uproszczone rozumowanie daje pogląd, czym jest owa zagadkowa informacja typu żeby–gdyby, tak istotna dla naszej intuicji.

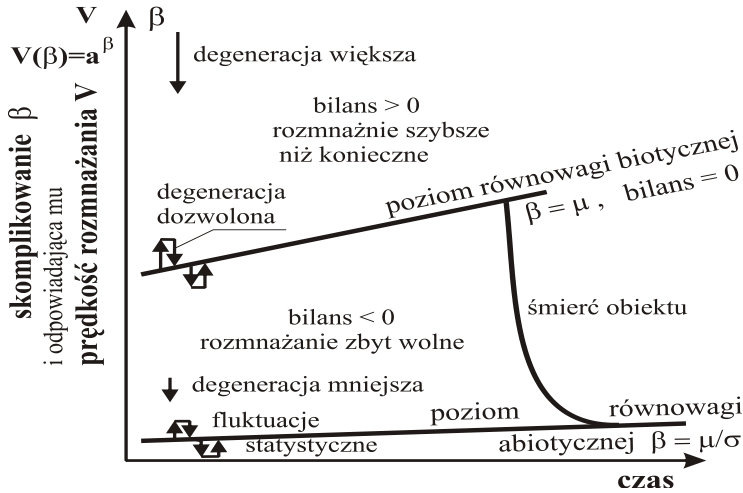
### 3.3. Prędkość rozmnażania a skomplikowanie

Dalej zajmować się będziemy jedynie długością skutecznego zapisu informacji celowej. Niech każdy automat składający się na agregat ma jednakowe prawdopodobieństwo zmiany  $\mathbf{p}$  na jednostkę czasu zwaną dalej iteracją (np.  $p=0.02$ , tzn. średnio 2 zepsute na owe 100).

Załóżmy, że obiekt ma na razie tylko jedną istotną własność – umie się rozmnażać z dostateczną prędkością  $\mathbf{V}$  (2.1.2) w ciągu iteracji, a jedynym zagrożeniem trwania są awarie. Mechanizm rozmnażania wymaga istnienia w obiekcie rozmnażającym się pewnej ilości informacji: jak tego skutecznie dokonać. Cały agregat o skomplikowaniu  $\beta=\mu$ , czyli składający się z  $\mu$  automatów jest więc zapisem tej informacji celowej. Zabezpieczenie jej przed degeneracją już wymaga pewnej prędkości rozmnażania. Każdy automat ma prawdopodobieństwo, że nie ulegnie zmianie  $\mathbf{1-p}$ , zapiszmy je w postaci  $\mathbf{1/a=1-p}$  (gdzie  $a>1$  ale raczej bliskie 1). Prawdopodobieństwo, że nie ulegnie zmianie żaden z  $\mu$  automatów składających się na zapis rozmnażania wynosi  $\mathbf{1/a^\mu}$ , a to ma zdarzać się raz na  $\mathbf{V}$  w czasie jednej iteracji, czyli:  $\mathbf{V = a^\mu}$ . (Dla założonych wartości  $\mathbf{V=7.54}$ .) Ogólnie utrzymanie w niezmiennym stanie  $\beta$  automatów wymaga prędkości rozmnażania  $\mathbf{V(\beta) = a^\beta}$  na iterację.

Odłóżmy  $\beta$  na osi pionowej, oś ta opisuje więc także  $\mathbf{V(\beta)}$  w odpowiedniej skali i w powyższym znaczeniu (rys. 7). Możemy teraz dla agregatu o  $\mu$  automatach zaznaczyć poziom równowagi abiotycznej jako  $\beta=\mu/\sigma$  (dla  $\mu=100$ ,  $K=2$  i  $s=4$   $\beta=100/16^{16}$ ), do którego spadnie liczba zgodnych ze wzorcem automatów, gdy zmienność nie będzie kontrolowana (a liczba automa-

tów we wzorcu i zmienianym agregacie – stała). Wartość w skali  $V$  dla tego poziomu nie ma sensu interpretacyjnego.



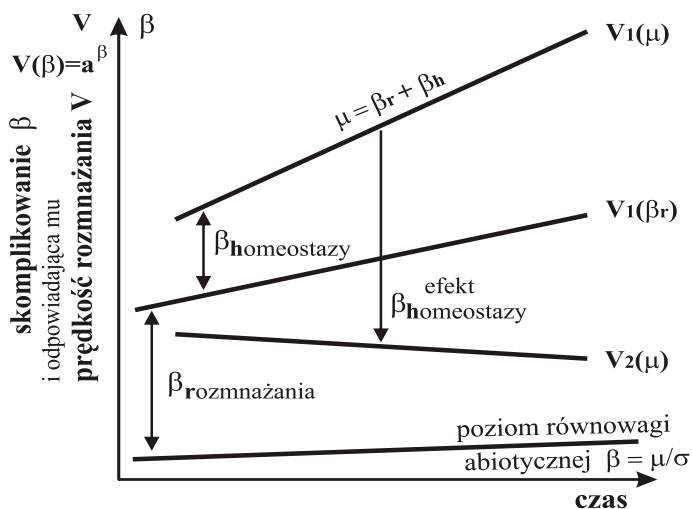
**Rys. 7.** Skomplikowanie  $\beta$ , to liczba automatów realizujących zadanie. Mogą one ulegać awarii z prawdopodobieństwem  $p$ , z tego  $a=1/(1-p)$ . Degeneracja= $\beta p$ . Całość zawierająca  $\mu$  automatów wymaga więc rozmnażania z odpowiednią prędkością  $V$ , by skompensować te awarie. Brak rozmnażania sprowadzi do stanu równowagi.

Prędkość degeneracji to liczba automatów, która przestaje być poprawna w ciągu iteracji, czyli  $\beta p$ , wzrasta więc z podnoszeniem się na wykresie do góry. Degeneracja sprowadza większość obiektów w dół, do poziomu równowagi. Szybciej niszczona jest treść zapisu (skuteczność, doskonałość  $b$ ) niż długość poprawnego jeszcze zapisu (doskonałość  $\beta$ ).

Na skali  $\beta$  dla punktu  $\mu$ , czyli dla całego agregatu, prędkość rozmnażania  $V(\mu)$  zdolna jest zabezpieczyć przed degeneracją cały agregat, odpowiada więc prędkości degeneracji, gdy bilans jest dokładnie równy zero. Jest to więc stan równowagi biotycznej dyskutowanej w dyfuzji poziomej (I.3.6.3). Fluktuacje wokół niego zawierają degenerację dozwoloną. Odłóżmy więc czas na osi poziomej. Obraz fluktuacji ma sens tylko w skali  $V$  poprzez zmiany  $p$ , gdyż zbyt prosty model wprowadzający  $\beta$  nie przewidywał zmian na „lepsze”. Wpływa to także na znaczne zubożenie interpretacji degeneracji, co powinny poprawić znacznie bardziej złożone modele. Obraz jakościowy pozostanie jednak zbliżony. Dla jego kompletności dodajmy drogę powrotu do stanu równowagi abiotycznej po wypadnięciu obiektu ze stanu równowagi biotycznej. Na omawianym poglądowym rys.7 nie jest ona obliczana jak na rys.1.3 o analogicznym charakterze, choć znajomość prędkości degeneracji  $\beta p$  na to pozwala.

Jak okaże się w dalszych odcinkach (patrz już w (Gecow i inni, 2005b)),  $\mu$  zazwyczaj statystycznie rośnie powoli wraz z czasem, więc linia wyznaczająca poziom równowagi biotycznej nieco wznosi się ku górze, co pociąga za sobą podobny efekt dla poziomu równowagi abiotycznej (dla tak dużych agregatów). Jest to jednak uproszczony obraz zakładający ewolucję w środowisku abiotycznym, najwyżej z konkurencją. Omawiane w (II.5.6) środowisko biotyczne tworzy jednak warunki do spadku  $\mu$ , co obserwuje się u pasożytów.

### 3.4. Efekt informacji celowej



**Rys. 8.** Efekt informacji celowej innej niż o rozmnażaniu wynika ze zmniejszenia  $a=1/(1-p)$ , gdzie  $p$  – prawdopodobieństwo awarii automatu. Jej zapis ma  $\beta_h$  automatów.  $V$  – prędkość rozmnażania kompensująca awarie.

Oprócz informacji celowej dotyczącej rozmnażania obiekt zbiera informację celową o dowolnych innych sposobach podnoszących szansę przeżycia. Spróbujmy teraz dodać do tego modelu i diagramu taką inną informację celową ( $h$  – homeostatyczną), niż jedynie o mechanizmie rozmnażania ( $r$ ), który wymaga  $\beta_r$  (= dawne  $\mu$ ) automatów. Dla ułatwienia, niech ta przykładowa inna informacja celowa ( $h$ ) dotyczy elementów modelu. Mogą to być mechanizmy zmniejszenia prawdopodobieństwa awarii lub likwidacji szkód wynikłych z awarii poprzez homeostatyczną regulację. Także unikanie niebezpieczeństw, skuteczniejsze zdobywanie pożywienia prowadzą do obniżenia groźby śmierci. Zwykle w wyniku takiej ( $h$ ) informacji celowej maleje wynikowe  $p$  jako prawdopodobieństwo niewyregulowanej awarii. Jednak zapis tej nowej informacji celowej też ma jakąś długość –  $\beta_h$ , która

z racji awaryjności wymaga pewnej prędkości rozmnażania. Agregat ma więc w sumie  $\mu = \beta_r + \beta_h$  automatów co wymagałoby prędkości rozmnażania  $V_1(\mu) = a_1^\mu$ , gdzie  $a_1 = 1/(1-p_1)$ . Teraz jednak wynikowe  $p$  jest mniejsze i wynosi  $p_2 < p_1$ , więc  $a_2 < a_1$  i  $V_2(\mu) < V_1(\mu)$ . Jest jednak jeszcze mocniej: Nowa informacja celowa nie zmienia (z upraszczającego założenia) mechanizmu rozmnażania, więc dawne  $V = V_1(\beta_r)$  nie zostało zmienione, a zmiany były na lepsze, tj. bilans  $B$  poprawił się, czyli dla mniejszego  $B=0$  wystarczy mniejsze nowe  $V_2(\mu) < V_1(\beta_r)$ . Mamy więc:  $V_2(\mu = \beta_r + \beta_h) < V_1(\beta_r) < V_1(\mu)$ . Na tym właśnie ma polegać mocne udoskonalanie – wzrost  $W_2$  (prawdopodobieństwa dożycia do chwili rozmnożenia), które w zasadzie zachodzi z punktu widzenia zmian w obiekcie, tylko zewnętrzne okoliczności (bariera pojemności środowiska) utrzymują  $B=0$ , ale tej wymuszonej zmiany w tym opisie nie widać.

Na rys. 8 w układzie współrzędnych z rys. 7, zaznaczono oba składniki skomplikowania  $\beta$  składające się na nowe, większe  $\mu$ . Z czasem rośnie długość zapisu informacji celowej ( $h$ ) nie dotyczącej samego mechanizmu rozmnażania.

Co dzieje się z zapisem samego rozmnażania? Z jednej strony uproszczenie tego zapisu jest zyskiem na awaryjności i taka zmiana zwiększy bilans, o który toczy się bój. Z drugiej strony rozmnażanie dotyczy coraz bardziej skomplikowanego tworu (o większym  $\mu$ ), więc wymaga większego mechanizmu (co w powyższym uproszczonym rozumowaniu pominęliśmy). Raczej należy przyjąć, że jego  $\beta_r$  i  $V_1(\beta_r)$  rośnie. W tej sytuacji  $V_2(\mu)$  też może rosnąć, ale nie prędzej (raczej będzie powoli malało), więc linie opisujące je będą się rozchodziły.

Dyskutowane przewidywania mają ogólny statystyczny i jakościowy, intuicyjny – poglądowy charakter. Wzrost skomplikowania częściowo wynika tu z obserwowanej w badaniach symulacyjnych strukturalnej tendencji wzrostu (Gecow 1986; 2005b), ale jest ona słabą tendencją; częściowo jest wynikiem dążenia do opisu i wyjaśnienia najbardziej złożonych obiektów żywych, jakie obserwujemy, i które jakoś łączyły w ewolucji tę złożoność. Nie jest jednak jasne, czy startując z określonej, sporej złożoności, statystycznie skomplikowanie rośnie dalej wśród pozostających przy życiu. Może je zmniejszać powstanie środowiska biotycznego (II.5.6), a w nim cudzożywności i dalej – pasożytnictwa.

#### 4. PRZEDZIAŁ I ZAPAS DEGENERACJI DOZWOLONEJ PODZAS EKSPLOZJI ILOŚCIOWEJ

Powróćmy do rozważań z (I.3.6), w którym nie zmieściło się wiele istotnych aspektów. Zostały tam wprowadzone pojęcia liczebności  $N$  obiektów, prędkości ich rozmnażania  $V$  oraz bilansu  $B = N_2 - N_1$  (indeksy 1, 2 przy  $N$  numerują chwile). Gdyby nie było eliminacji, to  $N_2 = N_1 V$ , ale uwzględniając prawdopodobieństwo dożycia do chwili rozmnożenia  $W_2$  (doskonałość moc-

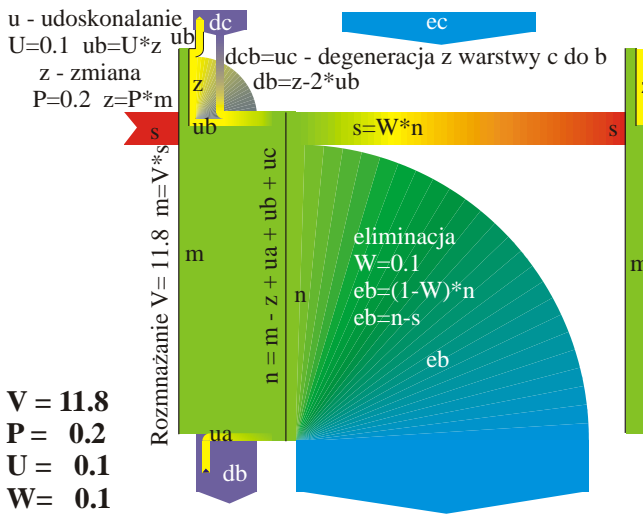
na – indeks 2) mamy  $N_2 = N_1 V W_2$ , gdzie  $V W_2$  odpowiada współczynnikowi reprodukcji netto  $R_0 = N_2 / N_1$  rozważanemu w biologii. Dla  $R_0 = 1$ , czyli  $B = 0$ , mamy  $W_2 = 1/V$ . Omawiany przypadek znany jest jako wzrost populacji o pokoleniach nie zachodzących na siebie (Łomnicki 2009). Jest to przypadek najprostszy, świadomie nie uwzględniający wielu istotnych czynników, które uwzględnia się w opisach realnych sytuacji, ale ta skrajna prostota pozwoli zauważyć test „efektywności” jako mechanizm udoskonalania (I.3.6.4). Dalej rozważać będziemy szerzej, niż w (I.3.6.5 i I.3.6.6) wpływ ograniczonej pojemności środowiska, także w skrajnie prosty sposób, ale już na przykładzie modelu, by wskazać na znaczenie tego zjawiska w rozwijanym modelu zbierania informacji celowej. Głównym parametrem udoskonalania słabego  $W_0$  jest liczebność  $N$ , która nie może osiągnąć zera, bo to definitywnie przerywa proces. Ten darwinowski test znamy wszyscy. Jak zauważyliśmy,  $N$  jest parametrem procesu a nie obiektu. (Zwykle ujmuje się to inaczej:  $N$  jest parametrem populacji, ale wtedy miesza się dwa całkiem odmienne typy populacji (II.5.3) przy okazji gubiąc jawność aspektu procesualnego.) Pojedynczy obiekt charakteryzowany jest przez probabilistyczny w charakterze bilans jednostkowy  $B_j$  w sensie przypadający średnio na jeden obiekt, czyli  $B_j = B/N_1 = R_0 - 1$ . W ogólniejszym przypadku, gdy rozważany jest model z ciągłymi pokoleniami, wielkości tej odpowiada  $r$  – współczynnik tempa wzrostu populacji<sup>9</sup>, stosowany w równaniu logistycznym opisującym dynamikę populacji. W naszym opisie, gdzie czas pokolenia jest jednością:  $r = \ln(W_2 V) = \ln R_0$  (Kozłowski 2009). Na bilansie jednostkowym opiera się słaba doskonałość  $W_1$  (prawdopodobieństwo, że po cyklu z rozmnażaniem pozostanie przynajmniej 1 obiekt) charakteryzująca pojedynczy obiekt wraz z rozmnażaniem (I.3.6.2). Takie odniesienie najważniejszego parametru mechanizmu wskazuje, czym w zasadzie się zajmujemy – nie jest to obiekt, a cały proces.

Dynamikę populacji podczas eksplozji ilościowej opisuje krzywa wykładnicza (typu  $J$ ); ten opis podał już w roku 1798 Malthus. Ukazuje on proces w czystej postaci teoretycznej, bez dodatkowych zjawisk na barierze pojemności środowiska i bez zmiany  $r$ , czyli też ze stałym  $R_0 = V W_2$ . Pozwala to zrozumieć ten proces, ale nie jest to jego postać typowa w realnym świecie. Zbliżone okoliczności występują w krótkich, ale istotnych odcinkach radiacji adaptatywnej. To, co różni ten stan od typowej konkurencji, to duży rozróżnienie pomiędzy poziomem  $W_2$  kontrolowanym przez test  $N=0$  a poziomem  $W_2$  dla segregowanego od góry maksymalnego bilansu (lub  $R_0$ ), który wbrew założeniom Malthusa nie jest stały. Aby unaocznić tę istotną różnicę, prześleliśmy prościutki model pozwalający na oparcie intuicji.

<sup>9</sup> Zwany także parametrem malthuzjańskim lub wewnętrznym tempem przyrostu naturalnego (Kozłowski, 2009).



Opisujemy obiekt posiadający sporą informację celową, choćby z powodu posiadanego mechanizmu rozmnażania o prędkości  $V$  zbliżonej do dostatecznej (2.1.2). Będziemy śledzić kolejne etapy (iteracje), startujące bezpośrednio po rozmnożeniu, w których kolejno następuje: zmiana z prawdopodobieństwem  $P$ ; to, co nie uległo zmianie przeżywa z prawdopodobieństwem  $W$ ; to co przeżyło rozmnaża się  $V$  razy. W wyniku zmiany obiekt zwykle zmienia warstwę. Warstwa zdefiniowana jest przez określoną wartość doskonałości  $Ww$ , gdzie  $w$  to indeks warstwy przyjmujący litery od  $a$  do  $j$ .  $Ww$  to uproszczona doskonałość, gdyż nie obejmuje obiektów wychodzących z tej warstwy. Podstawą założeń jest tu duża dysproporcja prawdopodobieństwa



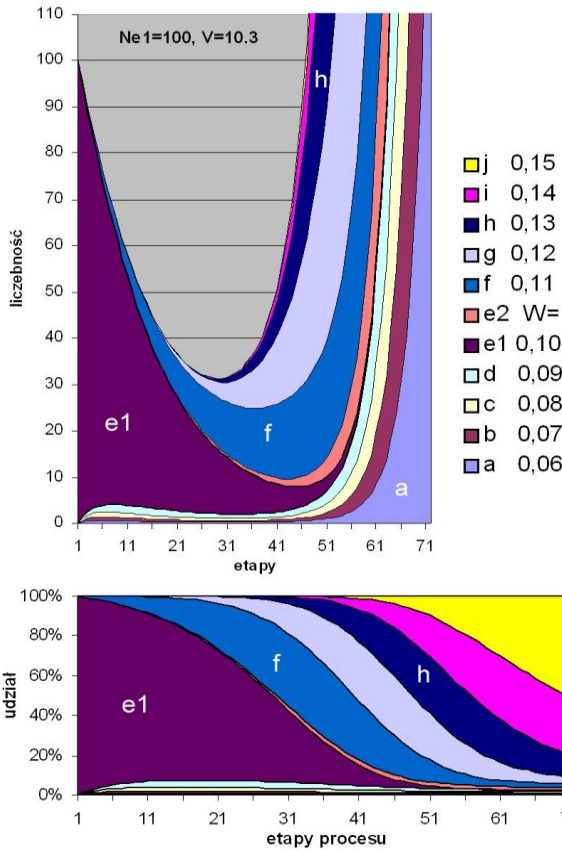
Rys. 9. Diagram przepływów opisujący warstwę b, e – eliminacja, d – degeneracja, u – udoskonalanie.

a szansa, że hipoteza ta jest celna (i poprawia doskonałość  $W$  o 0.01), wynosi  $U=0.05$ . W wyniku zmiany obiekt może pozostać w tej samej warstwie także z szansą  $U$ , jeżeli nie zmienia swojej doskonałości. Początkowa doskonałość  $W_e=0.1$ , czyli 1 na 10 obiektów niezmiennych osiąga fazę następnego rozmnażania. Definiuje ona warstwę startową  $e$ , w której zadajemy początkową liczebność  $N_e=100$ . Po rozmnożeniu i zmianie jest więc w niej  $(1-P+P*U)*N_e$ , a na końcu etapu:  $W_e*N_e*(1-P+P*U)$  obiektów nie zmieniających warstwy. Omawiane zależności przedstawia rys. 9, na którym jednak dla czytelności przyjęto nieco inne wartości.

zmiany losowej na „lepsze” (bardzo małe, więc najwyżej o jeden poziom do góry) i na „gorsze” (bardzo duże, więc do wszystkich warstw poniżej). Ta dysproporcja ma wiele podstaw, były one dyskutowane głównie we wcześniejszym rozdziale 2.2.2 „Degeneracja”.

Dla uproszczenia założmy, że – obiekty mają stałą prędkość rozmnażania  $V=10.3$  średnio z jednego. Prawdopodobieństwo zmiany wynosi  $P=0.1$ ,

Obiektów, które poprawiły doskonałość z  $We = 0.1$  na  $Wf = 0.11$  jest więc  $P \cdot U \cdot Ne$ . Można powiedzieć, że przeszły one z warstwy e o doskonałości  $We$  i liczebności  $Ne$  do warstwy f o doskonałości  $Wf$ . Jeżeli obiekt uległ zmianie, to szansa znalezienia się w warstwie bezpośrednio wyższej (tylko o jedno piętro) i każdej od niej niższej (w tym rodzimej) jest jednakowa (dla wygody)



**Rys. 10.** Historia warstw o różnym bilansie startująca z warstwy e o lekko ujemnym bilansie i  $N=100$  osobników. Zmienność zdążyła utworzyć warstwę f o już dodatnim bilansie a dalej nastąpiła eksplozja ilościowa i powstały warstwy o jeszcze większym bilansie. Warstwa e rozbita na e1 – bez zmian doskonałości  $W$  i e2 – wypełnianą w wyniku zmian, głównie degeneracji dozwolonej z warstw wyższych. Górny rys. (a) pokazuje liczebność a dolny (b) – udziały warstw, a także liczebność w przypadku konkurencji na barierze pojemności środowiska.

wa. Późniejszy wzrost bilansu warstwy  $e = e1 + e2$  aż do wartości dodatnich wynika z degeneracji (dozwolonej) warstw wyższych, co przedstawia podwarstwa e2. Wpływu z warstwy d do e nie wydzielono, bo byłby na tym diagramie niewidoczny.

ty) i wynosi  $U = 0.05$ , jak to wyżej założono. Może też spaść z warstw wyższych do danej warstwy, przez co prosta analiza liczebności jest myląca. By to unoczyć warstwę e podzielono na e1 – objekty bez zmian i e2 – zawierająca objekty, które znalazły się w niej w wyniku zmian, głównie spadły z warstw wyższych.

Wartość  $W_{2e}$  (nie uproszczona doskonałość mocna warstwy e, zawierająca ponad uproszczoną  $We$  jeszcze uratowanie się mimo przejścia do innej warstwy) można wyliczyć z podanych wartości:  $W_{2e} = We(1-P) + PU \sum_{w=a}^f Ww = 0.093$  (w przybliżeniu), więc iloczyn  $VW_{2e} = 0.96$ , co jest mniejsze od jedności i bilans jest ujemny. Wyniki przedstawia wykres na rys. 10.

Mimo początkowego bilansu ujemnego niektóre objekty zdążyły się udoskonalić i przejść do wyższej warstwy f zmieniając bilans na dodatni, w wyniku czego nastąpiła eksplozja ilościowa.

Przechodząc od liczebności (rys.10.a) do udziałów kolejnych warstw (rys.10.b) dostajemy drabinkę. Nietypowe zachowanie ostatniej warstwy j wynika jedynie z jej założonej skrajności, tj. skończonej liczby rozpatrywanych warstw.

Zwróćmy uwagę na warstwę a widoczną na wykresie liczebności (rys.10.a). Pomimo bardzo ujemnego bilansu wewnątrz tej warstwy, jej liczebność szybko rośnie za sprawą spadków z warstw wyższych. Jednak przyszłość obiektów z warstwy a to praktycznie jedynie eliminacja. Co innego obiekty, które znalazły się w warstwie e2; mimo także ujemnego bilansu, tu wykazaliśmy, że na uratowanie się ma szanse ponad 20%. Dla tych obiektów nawet spore zmiany degeneracyjne z najwyższych warstw nie muszą oznaczać eliminacji. Nazwijmy takie zmiany degeneracją dozwoloną (w uproszczeniu: gdy uzyskany bilans  $B_j$  jest nieujemny). Możliwość akceptacji tak wielkich zmian na gorsze wynika z ogromnego rozziemu między bilansem na „szczyt” drabiny a bilansem na tyle ujemnym, że praktycznie jeszcze istnieją szanse na uratowanie (liczba takich zdarzeń zależy od liczebności). W procesie udoskonalania formalnie nie ma miejsca na degenerację dozwoloną, bo próg doskonałości podnoszony jest po każdej zmianie na lepsze, ale to przecież uproszczenie. Realne mechanizmy to z jednej strony eliminacja  $N=0$ , a z drugiej – test efektywności wskazujący widoczną większość. To ten test efektywności podnosi próg i tworzy proces udoskonalania, ale eliminacja przez ten test nie jest fizyczna, obiekty te nadal istnieją, choć nie w tym procesie udoskonalania i mogą powrócić do gry. Obiekty na dole, w okolicach  $B_j=0$  miały nas nie interesować z uwagi na nieistotny udział – słabą efektywność i rzeczywiście w wyścigu efektywności mają one pomijalne znaczenie, jednak gromadzą one specyficzną różnorodność, nieosiągalną, gdy najwyższe warstwy mają bilans bliski zera. Ta różnorodność zostaje zauważona, gdy efektywny proces napotkał na tamę. Pozwala ona wtedy znaleźć wyjście ze ślepego zaułka specjalizacji lub obejść barierę pojemności środowiska, tj. przeskoczyć do względnie odległego innego pagórka w krajobrazie fitness Wrighta, gdzie tak zapoczątkowana nitka po obejściu tamy wyprzedzi niedawnych liderów.

W czasie eksplozji ilościowej pojawia się więc ogromny przedział degeneracji dozwolonej, (wielkość zmiany doskonałości w dół, jaka może zostać zaakceptowana) i wynikający z tego duży zapas degeneracji dozwolonej, (liczba zaakceptowanych względnie dużych zmian w zakresie degeneracji dozwolonej). Oba te pojęcia nie są precyzyjne, można w ich ramach zdefiniować wiele ściślejszych pojęć o nieco innym znaczeniu. Jednak już dostatecznie charakteryzują one zjawisko degeneracji dozwolonej i wyznaczają pytania do odpowiedzi. Związek między wielkością zmiany akceptowalnej (przez test  $N=0$ ), a przedziałem degeneracji dozwolonej, tj. różnicą doskonałości  $W_w$  warstw: najwyższej i najniższej jeszcze z bilansem  $B_j \geq 0$  (przedziałem degeneracji dozwolonej) można znaleźć na rys. 4, gdzie parametr  $b$  jest

modelem doskonałości, a  $L$  – wielkości zmiany. Dopuszczalne  $L$  nie zmniejszające  $b=56$  jest małe, jednak, gdy wystarczy, że po zmianie jest  $b \geq 40$ , to dopuszczalne  $L$  jest wyraźnie większe. Także większe jest prawdopodobieństwo akceptacji sporej, ale dopuszczalnej zmiany. Rys. 4 to jednak skrajnie prosty model bez struktury, podobne wnioski w modelu ze strukturą są nieco mniej radykalne, ale znacznie bardziej złożone. Ogólnie, podczas eksplozji ilościowej na zmiany nałożone są znacznie słabsze warunki, wolno im pogarszać bilans, więc mogą ulec zmianie dość dobre mechanizmy, czego w normalnej sytuacji dobór nie przepuści. Przy dużym przedziale degeneracji dozwolonej zaakceptowana zmienność jest jakościowo inna, z większym „rozmachem” („fantazją”), bardziej „partacka”, może to być kilka „ujemnych” zmian. Szczególnie dla populacji z wymianą informacji, tj. rozmnażaniem płciowym (tu nadal rozważamy jedynie przypadek rozmnażania wegetatywnego), populacja może zgromadzić w osobnych osobnikach dużą pulę takich negatywnych zmian, które zsypane razem do jednego obiektu byłyby zabójcze. Kombinacje niektórych z tych zmian tworzą możliwość ucieczki z załka specjalizacji lub obejścia bariery, co jak widać powinno być przygotowane zawczasu, zanim bilans spadnie do zera. Te specyficzne zmiany mają wyjątkowo ważną rolę, docenianą z opóźnieniem, co tłumaczy, dlaczego interesujemy się tym degeneratem, ostatnim na mecie w aktualnym wyścigu. Przypomnijmy jednak, że degeneracja to 0.8 zmienności w naszym przykładzie przy 0.1 zmianach na lepsze, a po dotarciu do najwyższej warstwy praktycznie 0.5 zmienności to degeneracja dozwolona. Te wielkości są założone arbitralnie, ale tworzą jakościowo z grubsza poprawny obraz.

Takie zjawiska powinny występować w trakcie radiacji adaptatywnej po opanowaniu nowego środowiska, zanim zostanie ono wypełnione do granic pojemności i proces zahamuje konkurencja. Ich statystyczne znaczenie prowadzi do koncepcji punktualizmu (Eldredge, Gould 1972).

Na koniec spójrzmy jeszcze raz na wykres udziałów (rys. 10b). Gdy proces oprze się o barierę pojemności środowiska z określoną liczebnością maksymalną, to wystarczy pomnożyć oś pionową przez tę liczebność, by otrzymać obraz liczebności warstw na barierze. Co prawda, to doskonałości  $W_w$  definiujące warstwy zmieniają dynamicznie swoje wartości tak, by maksymalna liczebność była stała, ale proces będzie składał się praktycznie z tych samych zmian co wcześniej (oprócz zapasu degeneracji dozwolonej, ale ten liczy się jakościowo a nie ilościowo), mechanizm ich wyboru będzie praktycznie ten sam, choć już nie będzie to normalny proces udoskonalania. Doskonałość w wyniku zmiany może się, co prawda, podnieść, ale zaraz po tym, bez żadnych zmian obiektu systematycznie spada (I.3.6.5). Na osi pionowej da się zaznaczyć wartość  $N=1$ , przekroczenie której w dół eliminuje warstwy testem  $N=0$ , gdyż w tym obszarze liczebność i udział jedynie spadają. Na barierze, mimo podobieństwa tych procesów, nie tworzy się już istotny zapas degeneracji dozwolonej, gdyż testy efektywności i  $N=0$  są zbliżone i mieszczący się

pomiędzy nimi przedział degeneracji dozwolonej jest znikomy. Zauważmy, że w tym obrazie to nie górna część rysunku rys. 10a jest odcięta nowym położeniem  $N=1$ , a dolna, zawierająca zapas degeneracji dozwolonej („partaninę”, której na barierze już nie ma).

Dynamika populacji dochodzącej do bariery pojemności środowiska opisana jest równaniem logistycznym  $dN/dt=r(1-N/K)N$  podanym przez Verhulsta w 1838r. Daje ono krzywą typu „S” składającą się z odcinka wzrostu  $N$  i poziomego odcinka nasycenia na barierze wymuszonego korektą  $(1-N/K)$  współczynnika  $r$ , gdzie  $K$  opisuje pojemność środowiska. Zapas degeneracji dozwolonej powstaje w zakresie wzrostu tej krzywej, ale w równaniu tym nie uwzględnia się zmienności ewolucyjnej – zakłada się stały współczynnik  $r$  tempa wzrostu populacji, czyli u nas stałe byłoby  $B_j$  i  $R_0$  oraz  $W_2=R_0/V$ , gdyż przyjęliśmy stałe  $V$ . Nie ma tu więc „wyższych” warstw, a powyższa korekta parametru malthuzjańskiego  $r$  wynika jedynie z pojemności środowiska. Równanie logistyczne ma wiele wersji próbujących możliwie dokładnie opisać konkretne rzeczywiste przypadki z bogactwem istotnych aspektów, jednak wiele z tych podejść przedkłada zapis formalny nad poprawność interpretacyjną (zauważają to np. (Argasiński, Broom 2013), (Kozłowski 1980)). W tym także prosta wizja oparcia się o barierę pojemności środowiska z względnie stałą liczebnością na barierze okazuje się dużym przybliżeniem. Dążenie do dobrego opisu obserwowanej rzeczywistości wymaga uwzględnienia wielu aspektów, ale zrozumienie mechanizmów biorących udział w takim zjawisku wymaga ich analizy w skrajnie uproszczonych warunkach. Rozważany przez nas model ma inne zadanie niż równanie logistyczne, nas interesują zjawiska ewolucyjne, tam pomijane jako drugorzędne dla zadanych pytań.

Dwa podstawowe parametry równania logistycznego:  $K$  – pojemności środowiska i  $r$  – współczynnik tempa wzrostu populacji dały jednak nazwy dla dwóch przeciwnych strategii życiowych, jakie może przyjąć ewoluujący gatunek. Gatunki zaliczane do strategii „ $r$ ” cechują się wydawaniem jak najliczniejszego potomstwa, tj. maksymalizują nasze  $V$ , ale mają dużą umiERALNOŚĆ wśród osobników młodych, czyli małe nasze  $W_2$ . Tu zysk opisuje  $W_1$ . Strategia „ $K$ ” opiera się na małej liczbie potomstwa, ale obszernej opiece nad nim, tu wzrasta więc  $W_2$  i maleje  $V$ . Obecnie opis przez  $K$  i  $r$  strategię zastąpiony został przez teorię historii życiowych (Kozłowski 2009), ale dla tak uproszczonego obrazu strategię  $K$  i  $r$  są wystarczające.

## 5. PODSUMOWANIE

W tym odcinku *Szkicu* przede wszystkim został wprowadzony prosty model ewoluującego obiektu „bez struktury”, a w nim definicja tendencji. Na razie wskazana została „tendencja małej zmiany”, która nazywa powszechnie znane i oczekiwane zjawisko, dotąd bez nazwy i bez teorii. Model pokazuje

skalę zmian, w której „mała zmiana” ma określony sens ilościowy. Pozwala to ustalić odniesienie, które w różnych środowiskach naukowych jest domyślnie inne. Tak np. biolodzy rozważają duże zmiany ewolucyjne, ale w zakresie zmian, które zachowały zdolność obiektu do dalszej ewolucji, czyli w zakresie zmian maleńkich w skali zmian możliwych w ogóle, w tym – letalnych w ogromnej większości. Tu mechanizmy regulacyjne rozwoju kręgowców tworzą mylną intuicję – wydaje się, że wśród zmian losowych zmian letalnych jest znacznie mniej. Model pozwala wyrobić sobie oczekiwania i lepiej zrozumieć znaczenie kontrolowanej informacją celową zmienności niby losowej omawianej w (II.2.1) i o której pisze Jabłonka wkładając to zjawisko w Lamarckowski wymiar ewolucji (Jabłonka 2005; 2009; Gecow 2010a).

Tendencja małej zmiany nie jest tendencją strukturalną – widać ją w modelu bez struktury, ale jest pośredniczką wszystkich tendencji strukturalnych, które są docelowym tematem Szkiicu. Wprowadzona tu definicja tendencji zastosowana do parametrów opisujących strukturę ewoluującego obiektu definiuje owe tendencje strukturalne. Wspomniane są tu w rozdziale 2.2.5, a w (II.4.4) nieco szerzej omawiane jest osłanianie.

Tendencja małej zmiany jest też istotnym elementem wskazującym źródło naturalnego kryterium tożsamości ewoluującego obiektu.

Model „bez struktury” zastosowany do sieci opisującej strukturę, użyty został do analizy „celowej informacji budowy” i „długości zapisu informacji celowej” (rozdział 3), które mają podstawowe znaczenie interpretacyjne. To właśnie te wielkości zauważane są przez nas i służą do odróżnienia obiektów żywych od innych przez naszą intuicję.

Degeneracja to gubienie informacji celowej. W modelu „bez struktury” jest ona łatwo widoczna. Podczas zbierania informacji celowej jest ona kompensowana rozmnażaniem. W normalnej sytuacji silnej konkurencji degeneracja dozwolona – taka by nie wypaść z procesu zbierania informacji celowej, ma nieistotne znaczenie. Jednak podczas eksplozji ilościowej, np. w czasie radiacji adaptatywnej, przedział degeneracji dozwolonej staje się istotnie większy, co umożliwia gromadzenie znacznie większych zmian. Mają one istotne znaczenie ewolucyjne po zablokowaniu eksplozji ilościowej na barierze pojemności środowiska. To zjawisko tłumaczy koncepcję punktualizmu (Eldredge, Gould 1972). Jest też podstawą mocnego udoskonalania opartego na  $W_2$  (prawdopodobieństwie dożycia do chwili rozmnożenia) (I.3.6.6).

Innym zaskakującym dla wielu wnioskiem z analizy zjawisk podczas eksplozji ilościowej na prostym modelu, jest dualizm testu selekcyjnego. Eliminacja wycinająca obiekty, których liczebność spadła do zera, okazuje się wtedy drugorzędym mechanizmem, a główny mechanizm selekcji wpływający na udziały opcji obiektów operuje na maksymalnym bilansie – współczynnikiem reprodukcji netto i nie jest zabijający. Ten test związany z efektyw-

nością jest mechanizmem wymuszającym udoskonalanie słabe oparte na  $W_1$  (prawdopodobieństwie, że po cyklu z rozmnażaniem pozostanie przynajmniej 1 obiekt) i wzrost informacji celowej, jednak jego klarowność i odrębność zaburzana jest przez barierę pojemności środowiska i powstanie konkurencji.

Wszystkie te wnioski razem tworzą podstawę do dalszych wywodów, głównie do modelu ewolucji adaptacyjnej struktury obiektu, gdzie będzie można wskazać mechanizmy powstawania tendencji strukturalnych.

## BIBLIOGRAFIA

- K. Argasinski, M. Broom, *The Nest Site Lottery: How Selectively Neutral Density Dependent Growth Suppression Induces Frequency Dependent Selection*. *Theoretical Population Biology* 90, 2013, s. 82–90
- G. de Beer, *Embryos and Ancestors*. Oxford 1940.
- R. Bürger, *The Mathematical Theory of Selection, Recombination, and Mutation*, Wiley Series in Mathematical and Computational Biology 2000.
- G. J. Chaitin, *Algorithmic Information Theory*, Cambridge University Press, Cambridge 1987.
- M. Eigen, *Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules*, *Naturwissenschaften* 1971, nr 10, s. 465–523.
- N. Eldredge, S. J. Gould, *Punctuated Equilibria: An Alternative to Phyletic Gradualism*. *Models in Paleontology*, red. T. J. M. Schopf Freeman, Cooper, San Francisco 1972, s. 82–115.
- R. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford, UK, Oxford University Press 1930.
- A. Gecow, *A Cybernetic Model of Improving and Its Application to the Evolution and Ontogenesis Description*, w: *Fifth International Congress of Biomathematics Paris 1975*.
- A. Gecow, A. Hoffman, *Self-improvement in a Complex Cybernetic System and Its Implication for Biology*, *Acta Biotheoretica* 32, 1983a, s. 61–71.
- A. Gecow, *Obiekt żywy jako stan odchylony od statystycznego stanu równowagi trwałej*. Materiały z I Sympozjum Krajowego CYBERNETYKA – 83, PTC Warszawa 1983b.
- \_\_\_\_\_, *Strukturalne tendencje w procesie udoskonalania*. Materiały z I Sympozjum Krajowego CYBERNETYKA-83. PTC Warszawa 1983c.
- \_\_\_\_\_, *Statystyczne tendencje strukturalne w systemach wielkich a ontogeneza*. Rozprawa doktorska. Instytut Badań Systemowych PAN. Warszawa 1986.
- \_\_\_\_\_, *From a "Fossil" Problem of Recapitulation Existence to Computer Simulation and Answer*, w: *Special Issue on Biologically Inspired Computing and Computers in Biology of the Journal Neural Network World 3/2005*, Inst. Computer Sci. Acad. Sci. Czech Rep. 2005a, s. 189–201.
- A. Gecow, M. Nowostawski, M. Purvis, *Structural Tendencies in Complex Systems Development and their Implication for Software Systems*. *Journal of Universal Computer Science*, vol. 11, nr 2, 2005b, s. 327–356.
- A. Gecow, *Structural Tendencies – Effects of Adaptive Evolution of Complex (Chaotic) Systems*, *Int. J. Mod. Phys. C*, tom 19, 2008a, s. 647–664.
- A. Gecow, *Emergence of Chaos and Complexity During System Growth*, w: *From System Complexity to Emergent Properties*. M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle (red.), Springer, Understanding Complex Systems Series, 2009a, s. 115–154.
- \_\_\_\_\_, *Emergence of Growth and Structural Tendencies During Adaptive Evolution of System*, w: *From System Complexity to Emergent Properties*. M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle (red.), Understanding Complex Systems Series, Springer 2009b, s. 211–241.

- \_\_\_\_\_, *The Simple Model of Living Object as an Outside State of Statistical Stable Equilibrium, the Small Change Tendency in Adaptive Evolution*, w: *Modelling and Analysis of Complex Interacting Systems*. M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle (red.), DCDIS-B special issue 2009c, s. 515–533.
- \_\_\_\_\_, *The Conditions of Structural Tendencies*, w: *Modelling and Analysis of Complex Interacting Systems*. M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle (red.), DCDIS-B special issue 2009d, s. 551–572.
- \_\_\_\_\_, *A Certain Complexity Threshold during Growth of Functioning Networks*, CANS 8–10 Nov.08 Tg. Mures Romania IEEE CPS 2009e, s. 69–76.
- \_\_\_\_\_, *Algorytmy ewolucyjne i genetyczne, ewolucja sieci złożonych i model regulacji genowej a mechanizm darwinowski*, w: *150 lat darwinowskiej teorii ewolucji*, J. Kozłowski i J. Radwan (red.), Kosmos 58, 2009, s. 429–442.
- \_\_\_\_\_, A. Gecow, *Ewa, Jabłonka i Lamarck*, Kosmos 59, 2010a, s. 27–38.
- A. Gecow, *The differences between natural and artificial life. Towards a definition of life*, <http://arxiv.org/abs/1012.2889>, 2010b.
- \_\_\_\_\_, A. Gecow, *Emergence of Matured Chaos During Network Growth, Place for Adaptive Evolution and More of Equally Probable Signal Variants as an Alternative to Bias p*, w: *Chaotic Systems*, E. Tlelo-Cuautle (red.), InTech, 2011, s. 280–310. ISBN: 978–953-307–564-8. Dostępne z: [www.intechweb.org](http://www.intechweb.org).
- \_\_\_\_\_, *Steps or Revolutions – Emotions in Biology, Dialogue & Universalism*, 2014a, no. 2/2014, s.153–174.
- E. Haeckel, *Zasady morfologii ogólnej organizmów*. Warszawa 1960, org.: Haeckel E., *Generelle Morphologie der Organisme*, George Reiner, Berlin 1866.
- E. Jablonka, M. J. Lamb, *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral and Symbolic Variation in the History of Life*, MIT Press, Cambridge 2005.
- E. Jablonka, G. Raz, *Transgenerational Epigenetic Inheritance: Prevalence, Mechanisms and Implications for the Study of Heredity and Evolution*, “Quart. Rev. Biol.”, 84, 2009, s. 131–176.
- S. A. Kauffman, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York 1993.
- J. Kozłowski, *Density Dependence, the Logistic Equation, and r- and K-selection: a Critique and an Alternative Approach*. *Evol. Theory* 5, 1980, s. 89–101.
- J. Kozłowski, *Ewolucja strategii życiowych*, w: *150 lat darwinowskiej teorii ewolucji*, J. Kozłowski i J. Radwan (red.), Kosmos 58, 2009, s. 323–328.
- B.-O. Küppers, *Geneza Informacji Biologicznej, Filozoficzne problemy powstania życia*, tłum. W. Ługowski (z: *Der Ursprung biologischer Information. Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung*, Piper, München, 1986), PWN, Warszawa 1991.
- A. Łomnicki, *Dobór naturalny*, w: *150 lat darwinowskiej teorii ewolucji*, J. Kozłowski i J. Radwan (red.), Kosmos 58, 2009, s. 323–328.
- A. Naef, *Die individuelle Entwicklung organischen Formen als Urkunde ihrer Stammesgeschichte*, Jena, 1917.
- H. A. Orr, *Adaptation and the Cost of Complexity*, *Evolution* (54), 2000, s. 13–20.
- I. I. Szmalski, *Organizm jako całość w rozwoju indywidualnym i historycznym*, KiW, Warszawa 1962.
- \_\_\_\_\_, *Czynniki ewolucji, teoria doboru stabilizującego*, PWN, Warszawa 1975.
- A. Weismann, *The Evolution Theory*, 2 tomy, London 1904.



***A WAY TO THE MODEL OF STRUCTURE EVOLUTION******ABSTRACT***

Three simple models are presented which describe preliminarily basic observations of living objects. The first one is a model of the improving process of object without structure. It prepares an intuition on evolution from the perspective of information and purposeful information, entropy and probability. The evolving object is described as a vector of properties of several equally probable variants. This model gives a formal foundation of small change tendency, and the quantitative basis for a natural identity criterion which has a deep philosophical meaning. Further it becomes a part of a model with a structure which indicates target structural tendencies. The second model describes the record length of purposeful information by use of which we intuitively distinguish living objects from the inanimate world. Here the model without structure is applied to the same object again but to its other aspect. The third model develops the notion “degeneration” defined in the model without structure. The paper discusses the reservation and scope of permitted degeneration during the quantitative explosion of adaptive radiation and during competition.

**Keywords:** biological information, purposeful information, degeneration, competition, quantitative explosion, adaptive radiation.

O AUTORZE — dr, afiliacja: Instytut Filozofii i Socjologii PAN, poprzednio długoletni pracownik rozwiązanego Instytutu Ekologii PAN, ul. Nowy Świat 72, 00-330 Warszawa, Polska.

E-mail: gecow@op.pl