

Praktyka zarządzania procesami B+R w świetle doświadczeń z algorytmami ewolucyjnymi

Wykład wygłoszony w ramach warsztatów naukowych II KAEiOG '97 w Rytrze

Roman Galar

Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
tel.: (71) 320-22-78, fax: (71) 320-34-08, email: rbg@ict.pwr.wroc.pl

Wprowadzenie

W drugiej połowie XX wieku termin „optymalizacja” stał się słowem kluczowym i w pewnym sensie magicznym. Wiązane z nim oczekiwania wykraczały daleko poza eksperymenty z numerycznymi procedurami wyznaczania wartości parametrów ekstremalizujących zaprogramowane funkcje celu. W nie do końca jasny sposób powstało wrażenie, że mamy oto wiedzę, która pozwoli radykalnie zmienić podejście do realizacji wielu praktycznych zagadnień i zastąpić prymitywną metodę prób i błędów naukowymi algorytmami. Rzeczywistość nie potwierdziła tych oczekiwań. Idea gradientu sprzężonego np., nie dawała się bezpośrednio przełożyć na praktykę zarządzania organizacjami. Szczyt publicznej fascynacji optymalizacją mamy już chyba poza sobą, choć politycy wciąż lubią zarzucać przeciwnikom nie dokonanie odpowiednich symulacji i nie podjęcie na tej podstawie optymalnych decyzji.

Wraz z narastającym zrozumieniem ograniczeń koncepcji optymalizacyjnych wywodzących się z analizy matematycznej, postępowało zainteresowanie mechanizmami zjawisk spontanicznej optymalizacji, a ściślej mówiąc adaptacji. Okazało się, iż przypadkowe modyfikacje i losowa selekcja mają swoje — nie uświadamiane wcześniej — zalety. Symulowane procesy dochodzenia do stanów minimalno-energetycznych i symulowane procesy ewolucyjne stały się kluczowymi procedurami efektywnych algorytmów optymalizacji numerycznej, takich jak *simulated annealing* i *genetic algorithm*. Ich główną zaletą jest odporność na zacinanie się poszukiwań w optima lokalnych, co nadaje im cechy algorytmów optymalizacji globalnej.

Istnieje możliwość, że doświadczenia z takimi algorytmami, a w szczególności z tymi, które symulują ewolucję, pomogą spełnić wcześniejsze nadzieje, tzn. dostarczyć optymalizacyjnie umotywowanych wskazówek dotyczących realnych, nie symulowanych procesów decyzyjnych. Przedmiotem tego wykładu jest właśnie próba sformułowania tego typu wskazówek w odniesieniu do praktyki zarządzania procesami badawczo-rozwojowymi (B+R), w tym zakresie, w którym dotyczą one poszukiwania radykalnie nowych rozwiązań. Nie trudno zauważyć, że zarządzanie sferą B+R jest w istocie realizacją pewnego — niekoniecznie zwerbalizowanego — algorytmu optymalizacyjnego. Skomentowanie tego „algorytmu” z punktu widzenia doświadczeń z numeryczną optymalizacją globalną, wydaje się względnie naturalne.

Układ prezentowanej wypowiedzi jest następujący:

- argumenty na rzecz tezy, że współczesna polityka sterowania procesami B+R zawodzi;
- dyskusja modeli pojęciowych procesów innowacyjnych motywujących politykę B+R;
- przedstawienie wyników badań dynamiki ewolucyjnych przejść siodła adaptacyjnych;
- ocena polityki sterowania sferą B+R w świetle tych wyników i sugestie zmian.

Kondycja sfery B+R u końca XX wieku

Na kondycję nauki zwykliśmy patrzeć z perspektywy krajowych trudności. Polska wydaje na B+R sporo poniżej 1% PKB, wobec 2.2–2.8% wykładanych przez kraje UE, USA i Japonię (dzieje się tak w okresie, gdy likwidacja luki cywilizacyjnej uważana jest za narodowy priorytet). Obserwacje takie często prowadzą do mniemań, że niska rodzima innowacyjność ma charakter li tylko endogennej i wystarczy wprowadzić światowe standardy finansowania i organizacji, by sprawy przybrały właściwy obrót.

Są powody by sądzić, że poglądy takie są zarazem zbyt optymistyczne i niepotrzebnie demobilizujące. Kompleks B+R boryka się z trudnościami również w obszarze działania standardów światowych. Lektura japońskiej *Białej Księgi Nauki i Technologii*¹ uzmysławia np., że ten przewodzący w wydatkach na naukę kraj przeżywa frustracje bardzo podobne naszym (choć za znacznie większe pieniądze): innowacyjność kuleje, badacze skarżą się na skąpe fundusze, przestarzałe wyposażenie, brak pomieszczeń i nieliczny personel pomocniczy.

Od dziesięciu lat wydatki globalne na B+R w zasadzie maleją, w szczególności jako procent PKB — dotyczy to USA, Europy i ostatnio Japonii.² W redukowaniu wydatków przoduje biznes, którego zaangażowanie traktowane było dotąd jako objaw witalności badań. USA zrezygnowały z budowy super cyklotronu, a ich program kosmiczny jest cieniem tego z lat 60-tych. Z pewnym opóźnieniem, obkurcza się rynek pracy, o czym zdają się świadczyć częstsze ostatnio powroty naukowców do kraju. Pojawiają się symptomy odwracania rozwiniętych społeczeństw od nauki i postępu technologicznego — Lista 1, co nie tak dawno zdawało się nie do pomyślenia. W ciągu kilku ostatnich dekad wyraźnej degradacji uległ status badaczy — Lista 2. Przyczyny opisanych zjawisk można się doszukiwać w malejącej efektywności triady badania–innowacje–rozwój.

Lista 1. Odwracanie się społeczeństw od nauki

- UE odkryła ostatnio konieczność aby wiedza i technologia przyczyniały się do powstawania bogactwa i polepszania usług społecznych i jakości życia, oraz konieczność kampanii mających na celu zwiększenie stopnia akceptacji nauki przez społeczeństwo, [The European Report on Science and Technology Indicators, 1994, Report 15897]
- Japończycy wobec postępu technologicznego: 3/4 lęka się skutków nadużyć i pomyłek, 3/5 obawia się utraty kontroli nad swoim życiem, 3/5 niepokoi się, bo nie rozumie tego, co się dzieje, 2/5 boi się o pracę. Występuje *nikłe zainteresowanie nauką i technologią wśród Japońskich dwudziestolatków*. Potrzeba: rezultatów, które wywrą *bardziej znaczący wpływ społeczny i akademicki — bez takich rezultatów, jeśli się nawet dotrze do społeczeństwa, to trudno będzie oczekiwać poparcia; poparcie pojawi się samo jeśli powstaną epokowe rezultaty*. [White Paper on Science and Technology 1996, S&T Agency of Japanese Gov.]
- O zmianie nastawienia społecznego świadczy też upadek gatunku fantastyki naukowej z jednej, a renesans fascynacji magią z drugiej strony.

Lista 2. Degradacja statusu badaczy

- *Gdy dorastałem, bycie profesorem wyglądało jak życie w niebie, w porównaniu z „realnym światem” (...) obecnie przypomina to każdą inną posadę, to znaczy jesteś szczęśliwy, że masz stałą pracę*. [T. Horowitz, Class Struggle: Young Professors Find Life in Academia Isn't What It Used to Be. The Wall Street Journal Feb. 15, 1994]
- Na jednego japońskiego badacza przypada 0.32 pracownika pomocniczego (na uczelniach 0.12) — to dwa razy mniej niż 20 lat temu. [White Paper on Science and Technology 1996, S&T Agency of Japanese Government, 1996]
- Zarobki dobrych naukowców w USA są niższe od zarobków przeciętnych lekarzy. Zarobki profesury w USA rzadko sięgają 100 000 dolarów rocznie, przeciętne dochody lekarzy podstawowej opieki zdrowotnej w Kalifornii w roku 1995 obniżyły się (!) do 146 000 [Time, April 21, 1997]
- W końcu XIX wieku, zarobki profesora uniwersytetu w Edynburgu stanowiły 50 krotność przeciętnych dochodów. Roczna pensja wystarczała, by kupić dom z sześcioma sypialniami. [N. Davis, History of Europe, Oxford University Press, 1996]

¹ White Paper on Science and Technology 1996, S&T Agency of Japanese Government, 1996

² The European Report on Science and Technology Indicators, 1994, Report 15897 EN, Brussels–Luxembourg, 1994

Kryzys innowacji przełomowych?

Innowacje można dzielić na: przyrostowe i przełomowe — te pierwsze polegają na ulepszeniu znanych już rozwiązań, te drugie na kreowaniu rozwiązań istotnie nowych (można jeszcze wyróżnić innowacje skojarzeniowe, takie jak odtwarzacz kompaktowy, polegające na kombinowaniu w nową całość elementów znanych już rozwiązań).

Podział wyników badań na zwykłe, powstające w obrębie obowiązujących paradygmatów i przełomowe, prowadzące do zmiany tych paradygmatów, wiąże się zwykle z nazwiskiem Kuhn'a.³ Podobne przesłanie głosił Popper, wskazując, że istota postępu nauki polega na falsyfikacji aktualnie obowiązujących hipotez.⁴ Zaobserwowane przez Eldredg'a i Gould'a *punctuated equilibria* w materiale paleontologicznym można interpretować jako dowód, że regularności takie występują też w procesach rozwojowych o podłożu genetycznym.⁵

W najlepszych nawet okresach innowacje przełomowe, wielkie i małe, stanowiły ilościowy margines działań innowacyjnych. Pełniły jednak rolę wyjątkową, wyzwalały lawinę innowacji przyrostowych prowadzącą do jakościowo nowych typów rozwiązań.

Warto rzucić okiem na próbki innowacyjności drugiej połowy XIX wieku — Tabela 1. Lista jest imponująca, choć daleka od kompletności. Współczesny styl życia jest w znacznej mierze bezpośrednią konsekwencją wymienionych w niej odkryć i wynalazków. Według obecnych kryteriów, były to osiągnięcia garstki ludzi (w sporej części amatorów) dokonane bardzo tanio. Sporo pozycji to innowacje nieoczekiwane i zastosowania praktycznie natychmiastowe. Chwila refleksji uprzytomnia, że podobnie imponujące listy innowacyjnych dokonań 50-lecia można bez trudności zestawiać również dla pierwszej połowy XIX i XX wieku. Czy jest to jednak równie oczywiste w przypadku drugiej połowy XX wieku?

Tabela 1. Próbką przełomowych innowacji i odkryć drugiej połowy XIX wieku

1852	żyroskop	Foucault
1852	podział komórek	Remak
1856	barwniki anilinowe	Perkin
1857	proces wytopu stali	Bessemer
1859	teoria ewolucji	Darwin
1859	analiza spektralna	Kirchoff
1859	szyb naftowy	Drake
1859	lodówka absorpcyjna	Carre
1861	aseptyka	Semmelweis
1861	telefon	Reis (1876 Bell)
1867	dynamit	Nobel
1867	prądnica	Siemens
1867	antyseptyka	Lister
1868	celuloid	Hyatt
1869	układ okresowy	Mendelejew
1873	równania pola	Maxwell
1874	maszyna do pisania	Remington
1876	silnik spalinowy	Otto
1877	fonograf	Edison
1877	mikrofon	Berliner
1879	żarówka	Edison
1879	lokomotywa elektryczna	Siemens
1882	elektrownia	Edison
1883	karabin maszynowy	Maxim
1884	silnik benzynowy	Daimler
1884	turbina parowa	Parson
1885	samochód	Daimler i Benz
1885	szczepionka na wściekliznę	Pasteur
1886	aluminium z elektrolizy	Hall i Heroult
1886	tramwaj elektryczny	Sprague
1888	fale elektromagnetyczne	Hertz
1888	silnik prądu zmiennego	Tesla
1888	opony	Dunlop
1889	karty perforowane w oblicz.	Hollerith
1893	zamek błyskawiczny	Judson
1892	odkrycie wirusów	Iwanowsky
1895	teoria elektronu	Lorenz
1895	kinematograf	Lumiere
1895	silnik wysokoprężny	Diesel
1895	radiotelegraf	Marconi
1896	odkrycie promieni X	Roentgen
1897	odkrycie elektronu	Thompson
1898	magnetyczny zapis dźwięku	Poulsen
1898	radioaktywność	Curie

³ T.S. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*, przeł. H. Ostromecka, Warszawa 1968

⁴ K.P. Popper, *Objective knowledge: an evolutionary approach*, Clarendon Press, Oxford, 1972

⁵ N. Eldredge, S.J. Gould, *Punctuated equilibria: an alternative to phylogenetic gradualism*, in: *Models in Paleobiology*, ed. T.J.M. Schopf, San Francisco Freeman, 1972

Takie postawienie kwestii wyglądać może absurdalnie. Czyż nie informowano nas wielokrotnie, że wysiłek badawczy tego okresu był większy, niż skumulowane wysiłki ludzkości w całej uprzedniej historii? Złamanie kodu DNA, lasery, koncepcja Internetu i nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe, to bez wątpienia innowacje pierwszej klasy. Ale co jeszcze? — warto tej kwestii poświęcić chwilę namysłu. Trzeba jednak uwzględnić, że to, czym chlubić się zwykliśmy szczególnie, technologie komputerowe i kosmiczne, to w dużej mierze konsekwencje doskonalenia wcześniejszych idei i miniaturyzacji układów elektronicznych.

Różnie można oceniać zaistniałe dokonania, nie ulega jednak wątpliwości, że zamierzenia były znacznie okazalsze — dość wspomnieć przykładowo wielkie programy badawcze, których celem było:

- uzyskanie taniej i czystej energii z kontrolowanej syntezy termojądrowej
- radykalne lekarstwo na raka (na AIDS)
- sztuczna inteligencja (w pierwszej kolejności tłumaczenia komputerowe)
- znaczące wydłużenie okresu życia
- inżynieria genetyczna (w szczególności przyswajanie azotu)
- terapia genowa (0 uleczonych do 1996)

Można ten wykaz rozszerzać i dodać choćby różne socjo-techniczne projekty budowy systemów szczęśliwości społecznej.

Wielkie programy przyniosły oczywiście (i wciąż przynoszą) interesujące rezultaty — zwykle uboczne. Rezultaty te pozostają jednak w rażącej dysproporcji, tak do deklarowanych szumnie celów, jak i do wydanych pieniędzy. Zaczyna docierać do konsumentów, że zapowiedzi nowych cudów technologicznych sprawdzają się ostatnio raczej wyjątkowo — Lista 3. Nie powinno więc dziwić, że zaczynają oni odwracać się od nauki i coraz częściej zadają obraźliwe pytania o efekty.

Zaistniała sytuacja bardzo niepokoi. Kryzys jest wciąż w początkowym stadium, ale wiadomo, jaka bywa dynamika katastrof. Załamanie naukowej eksploracji rzeczywistości w wyniku drastycznego ograniczenia zakresu badań, miałoby fatalne konsekwencje cywilizacyjne. Katastrofa taka może się jednak zdarzyć — czyż podobne nieszczęście nie dotknęło już tak zwanej wysokiej kultury?

Czy jednak kryzys? Teza o innowacyjnej niewydolności współczesnej sfery B+R jest tak jawnie sprzeczna z obowiązującym stereotypem, że naturalnym odruchem jest jej odrzucanie, na rzecz innych wyjaśnień. Spotyka się w tym kontekście opinie, że:

Lista 3. Badania – innowacje – rozwój?

- *Spółeczeństwo słyszy, iż jesteśmy pierwsi w nauce i chciałoby wiedzieć czemu ten fakt nie poprawia naszego życia. Jedyna rzecz, która działa w tym kraju wydaje się nie przynosić korzyści.* [Walter Massey, dyrektor US National Science Foundation, Time 23/11/92]
- (...) w wielu krajach rosnące koszty nauki zaczęły powodować zaniepokojenie już w latach 1970. Od końca Zimnej Wojny ten niepokój wzrósł i ostatecznie przekształcił się w głęboką niewiarę, że niepoohamowane badania mogą być jedynym źródłem postępu ekonomicznego. [M. Gibbons, New Imperatives for Science Policy in Central and Eastern Europe, in Kukliński A. (ed.) Production of Knowledge and the Dignity of Science, Euroreg, Warsaw, 1996]
- Choć w ubiegłej dekadzie zainwestowano bilion dolarów w technologię komputerową i nie zwiększyło to (w wymierny sposób) produktywności gospodarki. [J. Keyes, So, Where's the IT Payoff? Byte, May 1995, p: 260]
- Jako całość, inwestycje w B+R w Japonii osiągnęły docelowe poziomy wskazane w roku 1984. Z drugiej strony badania podstawowe nie uczyniły takiego postępu jak zakładano, co powoduje różnego rodzaju kłopoty. [White Paper on Science and Technology 1996, S&T Agency of Japanese Government, 1996]
- Przemysł lotniczy przyśpieszył wyścig technologiczny do takiego szalonego rytmu ustawicznej zmiany, że nikt już nie zarabia na tym pieniądzy. W połowie dekady przed rokiem 1995, linie lotnicze poniosły z tego powodu straty tak wysokie, że z nadmiarem skasowały one wszystkie dochody, które przyniosło lotnictwo cywilne od początku swego istnienia w latach 1920. [C. DeBresson, The way we think about Technical Change, in: Kukliński A. (ed.) Production of Knowledge and the Dignity of Science, Warsaw, 1996]

- przełomowe innowacje wciąż powstają, ale zostaną rozpoznane jako takie dopiero, gdy zaowocują, a to wymaga dekad (typowe wyjaśnienie małej efektywności informatyki);
- innowacje powstają, ale są trzymane w tajemnicy przez chciwych kapitalistów lub wojsko,
- możliwości łatwych innowacji już wyczerpano, a na trudne trzeba więcej czasu i pieniędzy,
- brak nowych innowacji, bo potrzeby ludzkie okazały się bardziej ograniczone, niż sądzono.

W każdym z tych poglądów jest zapewne, sporo racji. Ta wypowiedź koncentruje się jednak na hipotezie, że uwiad innowacyjny istotnie występuje i jest w znacznej mierze bezpośrednią (choć niezamierzoną) konsekwencją polityki sterowania sferą B+R.

Problem w tym, jak wyjaśnić sekwencję wydarzeń, którą przedstawia Lista 4; tzn. falę spontanicznej innowacyjności w okresie poprzedzającym rewolucję przemysłową, znakomite efekty doskonalenia organizacji nauki i badań rozwojowych w XX wieku i nieoczekiwane wyhamowanie kreatywności w ostatnim ćwierćwieczu?

Modele rozwoju

Dociekanie przyczyn kryzysu innowacyjności, warto rozpocząć od prostego pytania naprowadzającego: jakież to właściwie model rzeczywistych procesów rozwoju przyświeca autorom strategii B+R? Kwestia jest złożona, ale, jak się wydaje dominują dwa wyobrażenia:

1. przekonanie, w duchu XIX-wiecznej filozofii pozytywnej Comte'a, o istnieniu predestynowanych trendów rozwoju — które można identyfikować i które należy wspierać.
2. przekonanie, w duchu XIX-wiecznego darwinizmu społecznego, że rozwój jest wynikiem selekcji i doskonalenia najlepszych z zaistniałych rozwiązań — i że można go wspierać przez zaostanie selekcji i promowanie wyselekcjonowanych.

Z pierwszym wyobrażeniem wiąże się wizja lokomotywy dziejów pędzącej po torach historii. To w ramach tej wizji funkcjonują takie klisze językowe jak *dążenie do zaspokojenia potrzeb, jedynie słuszny kierunek rozwoju, czy wzmaganie tempa rozwoju*. Z drugim wyobrażeniem wiąże się wizja bezkresnie wznoszącego się zbocza przystosowawczego, po którym ewolucja cierpliwie wędruje w górę, ku doskonałości. W ramach tej wizji mówi się z kolei o *dochodzeniu do rozwiązań krok po kroku, czołówek*

Lista 4. Krótka historia sfery B+R

- Czasy historyczne: innowacje pojawiały się spontanicznie i spontanicznie następowała też dyfuzja innowacji. Uzyskiwany postęp miał charakter sporadyczny, tak w czasie, jak i w przestrzeni.
- XVIII wiek, Anglia: początek epoki permanentnych innowacji, które doprowadziły do rewolucji przemysłowej. Ustaliło się sprzężenie zwrotne między badaniami i korzystnymi zastosowaniami.
- XIX wiek: następuje rozpad organicznej wcześniej jedności produkcji i innowacji. Ta pierwsza zostaje poddana standaryzacji w fabrykach, ta druga zostaje wyswobodzona w laboratoriach.
- XIX wiek, Anglia, Europa Zachodnia, USA: postęp przyśpiesza, błyskotliwe innowacje: zwykle tanie, często amatorskie, na ogół szybko wdrażane.
- XIX/XX wiek: związek między badaniami, innowacjami i potęgą kraju staje się jasny dla polityków (wpierw Niemcy). Pieniądze i zaszczyty dla badaczy — to działa, co pokazuje I wojna światowa.
- Lata przed II wojną: cykl badania — innowacje — rozwój nabiera rozmachu. Następuje profesjonalizacja badań; Whitehead głosi, że *największe odkrycie XIX wieku to metoda dokonywania odkryć*.
- Lata II wojny: zmobilizowany wysiłek badawczy w akcji. Projekt *Manhattan* udowadnia światu potęgę sprawnej organizacji prac badawczych i rozwojowych.
- Ćwierćwiecze powojenne: rządy i firmy zmieniają politykę — mniej patronowania egzotycznym pomysłom, więcej celów, planów i rozliczeń. Seria spektakularnych osiągnięć przełożonych na sukcesy rynkowe. Prace badawcze, innowacyjne i wdrożeniowe stają się przedmiotem strategii rozwojowych, co daje mieszane efekty.
- Lata 1960/70: wszystko wydaje się możliwe, ludzkość wykonuje swój wielki krok na Księżycu (apogeum osiągnięć sfery B+R?). Nowa „nauka”, futurologia ustala precyzyjne harmonogramy przyszłych odkryć i wynalazków.
- Ostatnie ćwierćwiecze: wielkie zacięcie, deficyt nowych idei, które sfera B+R mogłaby wdrażać. Intensywniejsze niż kiedykolwiek próby dalszego usprawniania organizacji B+R nie przynoszą już oczekiwanych efektów.

postępu, zostawianiu w tyle czy zbaczaniu z drogi. Łatwo dostrzec, że konwencjonalne strategie B+R, które polegają na wytyczaniu głównych kierunków badań i koncentracji środków na tych kierunkach, zgodne są z obu tymi wyobrażeniami.

Pozytywizm Comte'a pełnił rolę naukowej religii, która obiecywała ludziom zaspokojenie ich ziemskich potrzeb (wg T.H. Huxley'a *katolicyzm bez chrześcijaństwa*⁶), co nie doprowadziło do niczego dobrego. Darwinizm z przymiotnikiem społeczny firmował szereg obłądnych przedsięwzięć i w tej roli skutecznie się skompromitował. Natomiast darwinizm jako taki nie utracił dotąd swej atrakcyjności poznawczej. Daleko wciąż jednak do powszechnej zgody, co do tego jakie aspekty ewolucji należy uznać za konstytutywne. Skrajności społecznego darwinizmu dorównuje skrajność przekonań, iż o przebiegu ewolucji rozstrzyga wyłącznie wewnętrzna dynamika mechanizmów genetycznych.

Wykorzystany w dalszych rozważaniach prosty model ewolucji darwinowskiej⁷, abstrahuje od wspomnianych ekstremizmów i bliski jest koncepcjom, które głosili Wright⁸ i Eigen⁹. Model opisuje ewolucję fenotypową skończonych populacji, w jednorodnym środowisku, przy założeniu, że stopień przystosowania osobników zależy od sposobu zestrojenia cech, że szanse reprodukcji są proporcjonalne do stopnia przystosowania, zaś potomkowie dziedziczą cechy poprzedników z małymi losowymi zmianami.

Prostota przyjętego modelu umożliwia jego reinterpretację, tak aby pasował do opisu rozmaitej natury spontanicznych procesów równoległego poszukiwania lepszych rozwiązań¹⁰ — por. Tabela 2. Z punktu widzenia algorytmów ewolucyjnej optymalizacji, model taki definiuje ewolucję m elementowej populacji w n -wymiarowej przestrzeni rzeczywistej bez ograniczeń. W najprostszym przypadku, obowiązuje selekcja proporcjonalna i działa jedynie operator mutacji, który modyfikuje wszystkie cechy wszystkich potomków przyrostami o rozkładzie

Tabela 2. Niektóre analogie między podstawowymi kategoriami w procesach spontanicznego rozwoju. (Uwaga: współcześnie wiele z tych procesów nie można już uznać za spontaniczne.)

proces	ewolucja gatunku	rozwój technologiczny	rozwój kulturowy
domena	środowisko	rynek	diedzina
próby	dojrzałe osobniki	sprzedane przedmioty	przypadki zastosowań
współrzędna	cecha	parametr	właściwość
reprodukcja	wydawanie potomstwa przez dojrzałe osobniki	produkowanie kopii sprzedanych produktów	powtarzanie udanych zachowań
modyfikacja	mutacja	przeróbka	zmiana
rekombinacja	dziedziczenie cech po obojgu rodzicach	kojarzenie rozwiązań technologicznych	kompilacja idei
funkcja celu	fitness	jakość	skuteczność
wskaźnik jakości	oczekiwana liczba potomstwa	oczekiwany popyt rynkowy	oczekiwana liczba powtórzeń

⁶ N. Davis, *History of Europe*, Oxford University Press, 1996

⁷ R. Galar, *Handicapped individua in evolutionary processes*. Biological Cybernetics, 51: 1–9, 1985

⁸ S. Wrigh, *The roles of mutation, cross-breeding and selection in evolution*, Proc. VI Int. Genetics Congress 1, 356–366, 1932

⁹ Eigen M., *Self-organisation of matter and the evolution of biological macromolecules*, Naturwissenschaften 58, 465–523, 1971

¹⁰ Galar R., *Emergence of crucial innovations in biological and trans-biological evolution*. Proc. 14th Int. Congress on Cybernetics, Namur, 113–118, 1995

$N(0, \sigma^2)$. Istnieją poważne przyczyny, by rozważać taki właśnie model, a nie na przykład którąś z wersji algorytmów genetycznych. Konieczne jest bowiem zachowanie specyfiki właściwej procesom spontanicznej adaptacji — por. Tabela 3.

Tabela 3. Niektóre różnice między procesami komputerowej optymalizacji i spontanicznej adaptacji. W tych drugich występują ograniczenia i prawidłowości nie dotyczące tych pierwszych.

Proces	Komputerowa optymalizacja	Spontaniczna adaptacja
Powierzchnia odpowiedzi	Jawna, arbitralnie ustalana	Ukryta, obiektywnie istniejąca (statystycznie mierzalna), mająca charakter wzgórz adaptacyjnych.
Obszar poszukiwań	Znany, w całości otwarty na eksplorację (co daje np. możliwość wielostartu).	Nieokreślony, na eksplorację otwarte jest jedynie bezpośrednie otoczenie aktualnej generacji (rozwój zależny od ścieżki).
Selekcja	Wg założeń, zwykle dowolnie precyzyjna i z pamięcią (najlepszego dotychczasowego).	Losowa, proporcjonalna do jakości, zwykle zaszumiona, bez pamięci rozwiązań z wcześniejszych generacji (miękką selekcją).
Modyfikacje	Można dowolnie ustalać wartości parametrów, od których zależy wartość funkcji celu.	Reprodukcja i selekcja przebiegają na różnych i nieredukowalnych poziomach złożoności. Nie kontrolowane (z poziomu selekcji) zmiany konstytutywnych parametrów reprodukcyjnych wywołują niewielkie zwykle losowe zmiany syntetycznych parametrów, od których zależy wartość funkcji celu.
Rekombinacje	Wg założeń, nieraz bardzo egzotycznych.	Zachodzą losowo, w efekcie dają zwykle rozwiązania o cechach syntetycznych pośrednich.
Organizacja	Proces decyzyjny.	Równowaga selekcyjno-modyfikacyjna.

Dynamika przekraczania siodeł adaptacyjnych

W teorii ewolucji eksponuje się na ogół jej mechanizmy, rzadko mówi się w sposób jawny o zakładanych cechach krajobrazów adaptacyjnych (powierzchnie wskaźników przystosowań nad przestrzeniami cech rozwiązań), w których te mechanizmy działają. Jest to chyba istotny niedostatek metodologiczny — trudno pojąć funkcje systemu bez uświadomienia sobie okoliczności, w których ma on funkcjonować.

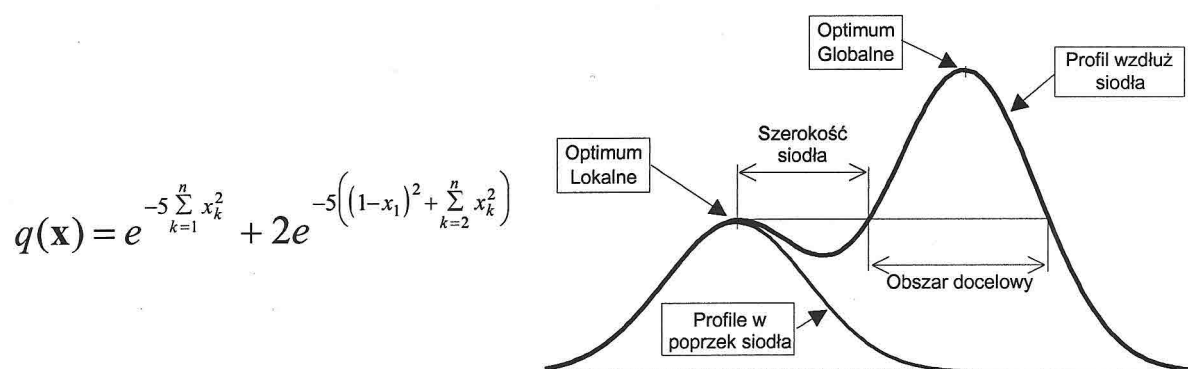
Zauważmy wprawdzie, że gdyby typowym obszarem działań ewolucji było wspomniane wcześniej nieskończone zbocze adaptacyjne, to rozwój — tak jak uczą tego w szkołach — miałby istotnie charakter ciągu stopniowych udoskonaleń. Na nieskończonym zboczku, rozwiązania mogą być bez końca ulepszone przez małe zmiany cech (małe kroki w górę), można też analizować kierunek wcześniejszych zmian i wykorzystać tę informację do planowania dalszych ulepszeń. W takim terenie adaptacyjnym darwinizm socjalny byłby skuteczną metodą przyspieszania rozwoju. Jego istotą jest bowiem zastąpienie typowej dla procesów spontanicznych *selekcji miękkiej* (szanse reprodukcji proporcjonalne do przystosowania, czyli zróżnicowane, ale dla wszystkich) *selekcją twardą* (powielanie najlepszych i eliminacja pozostałych) — łatwo wykazać, że taka zamiana znakomicie przyspiesza ruch w górę zbocza.

Jak wiadomo, rzeczywiste procesy rozwojowe nie trwają wiecznie i po okresie ulepszeń następuje zastój. Można to wyjaśnić zakładając, że krajobraz adaptacyjny ma kształt wzgórza — po początkowych sukcesach (wspinaczka po zboczku) rozwój zatrzymuje się, gdyż na wierzchołku brak już możliwości dalszych ulepszeń. Z doświadczenia, wiadomo też, że procesy rozwojowe miewają ponadto charakter cykliczny — po okresie zastoju następuje nowa seria stopniowych ulepszeń i kolejny zastój. Dynamika taką łatwo wytłumaczyć przyjmując — jak sugerował Manfred Eigen — że krajobrazy adaptacyjne *przypominają łańcuchy*

gór na Ziemi¹¹. Odblokowanie rozwoju następuje, gdy ewolucji uda się przekroczyć siodło adaptacyjne oddzielające osiągnięty już wierzchołek od sąsiedniego, wyższego wierzchołka. Jest to dla ewolucji trudne, co tłumaczy długotrwałość zastoju. Jaki jest jednak mechanizm przejścia siodła? Odpowiedź na to ma zasadnicze znaczenie dla prowadzonych tu rozważań.

Pierwsze próby odpowiedzi bazowały zwykle na hipotezie *makromutacji* — ewolucja doprowadza do szczytu rozeznaczonych możliwości; dalej iść metodą stopniowych ulepszeń nie sposób, bo stąd każdy mały krok prowadzi w dół. Trzeba więc wykonać wielki krok, tak by trafić w wyżej położony punkt, już poza siodłem. Aby metafora była kompletna należy zaznaczyć, że jest ciemno i nie sposób dostrzec w jakim kierunku i w jakiej odległości znajduje się ewentualne wyższe wzgórze, zaś przestrzeń poszukiwań jest wielowymiarowa.

Hipoteza makromutacji jest prosta i atrakcyjna — tezy, o ewolucyjnej roli kataklizmów powodujących okresy podwyższonej zmienności genetycznej, dają się z nią bezpośrednio powiązać. Podejmowane z różnych pozycji próby oszacowania prawdopodobieństw przejść makromutacyjnych dawały jednak bardzo pesymistyczne rezultaty. Już przy kilku współzależnych cechach, czasy oczekiwania na przejście niezbyt nawet szerokich siodła okazywały się praktycznie nieskończone. Skłaniało to do zwątpienia w optymalizacyjne moce ewolucji, a nawet w ewolucję jako taką. W rzeczywistości nie jest tak źle, co w latach 80-tych wykazano niezależnie w kilku ośrodkach¹². Jak wynika z przedstawionych dalej danych¹³, ewolucja może przekraczać nawet bardzo szerokie i głębokie siodła — następuje to jednak nie przez makromutacje, a poprzez serie *mutacji zmutowanych mutantów*, zaś czynnikiem, który umożliwia takie sekwencje mutacji jest właśnie *miękką selekcja*.



Metoda poszukiwania ulepszenia	$n=1$	$n=2$	$n=4$	$n=8$
Próby losowe rozłożone równomiernie w n wymiarowej kuli o środku w optimum lokalnym. Promień kuli dobrano optymalnie.	3	12	111	6100
Ewolucyjne poszukiwania z twardą selekcją (próby normalnie rozłożone wokół lokalnego optimum). Wariancja dobrana optymalnie.	5	18	170	12000
Ewolucyjne poszukiwania z miękką selekcją. Start w optimum lokalnym. Populacje po 8 prób. Wariancja dobrana optymalnie.	5	16	70	400

Ilustracja 1. Efekt „przekleństwa wielowymiarowości” w przypadku przekraczania siodła adaptacyjnych. Funkcja $q(x)$ generuje n wymiarowy krajobraz adaptacyjny o profilu przedstawionym na rysunku. W tabeli zestawiono oczekiwane liczby prób potrzebne do znalezienia rozwiązania lepszego niż lokalnie optymalne (trafienia w „obszar docelowy”). Parametr metody dobrano tak, by zapewnić minimalną liczbę prób.

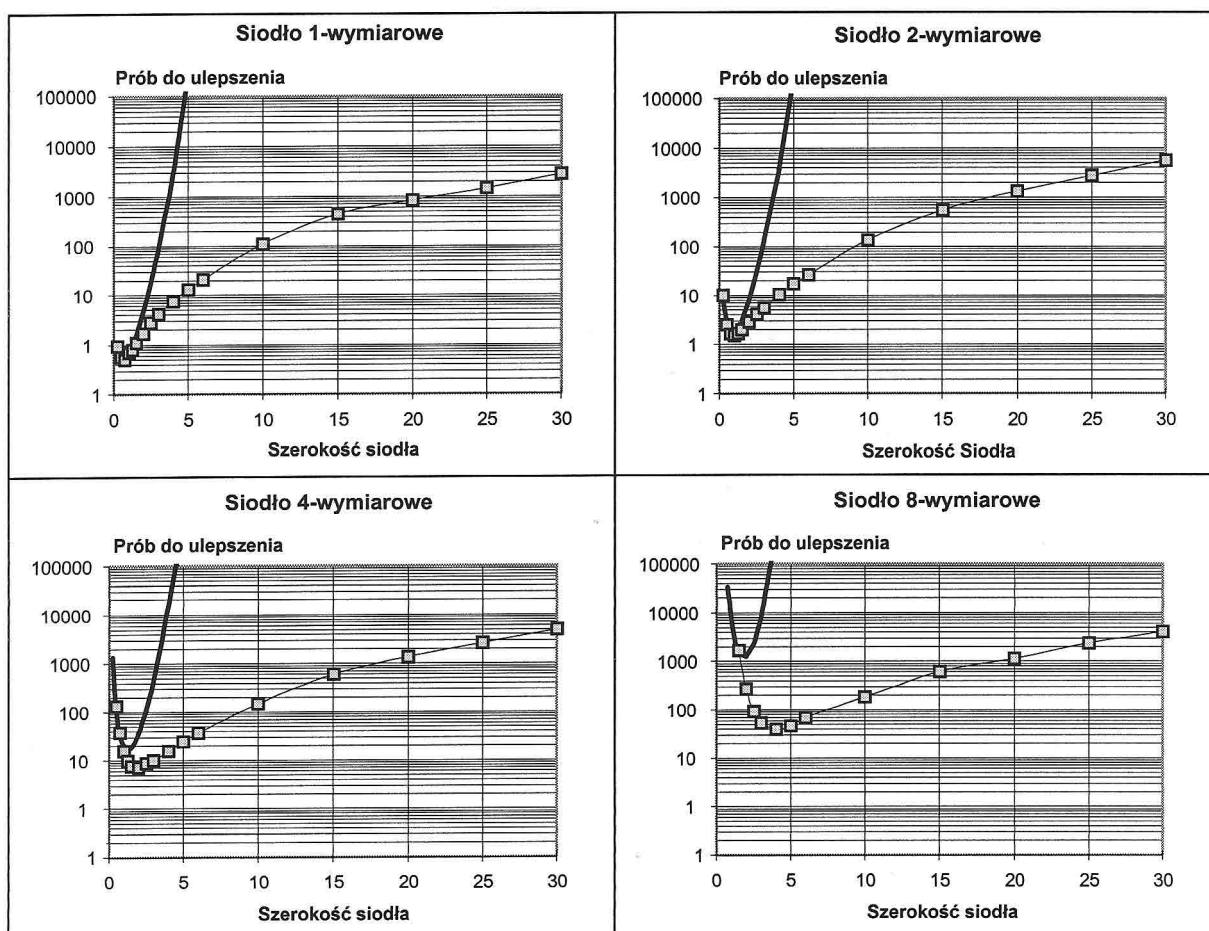
¹¹ M. Eigen, *Self-organisation of matter and the evolution of biological macromolecules*, Naturwissenschaften 8, 1971, pp:465-523

¹² A. Schober, M. Thuerk, M. Eigen, *Optimization by hierarchical mutant production*, Biol Cybern, 69, 1993

¹³ R. Galar (1989) *Evolutionary search with soft selection*. Biological Cybernetics, 60: 357–364, 1989

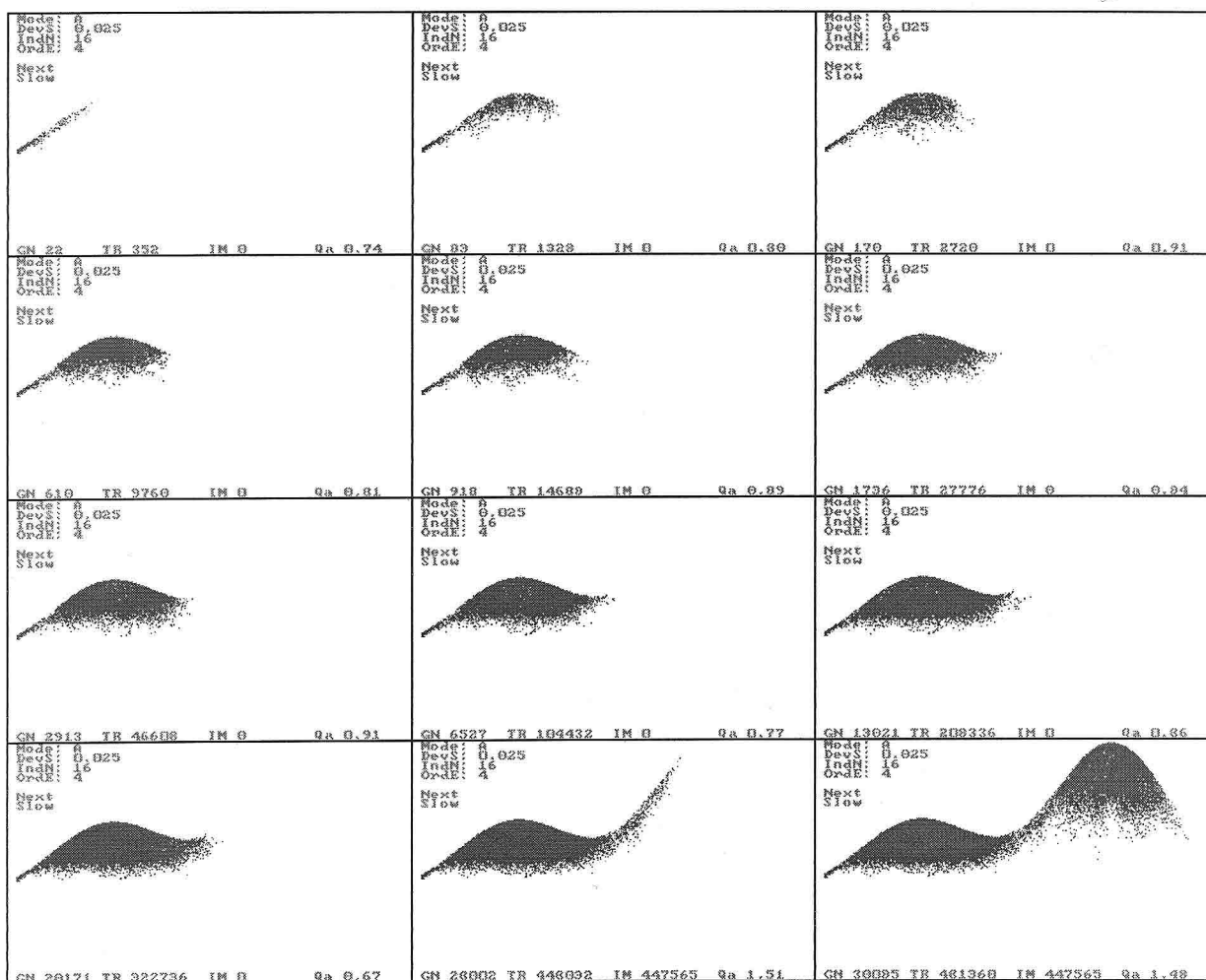
Ilustracja 1 przedstawia krajobraz adaptacyjny będący przedmiotem omawianych dalej testów numerycznych. W dołączonej do ilustracji tabeli zestawiono oczekiwane liczby prób potrzebne do przejścia siodła przy miękkiej i twardej selekcji — miękka selekcja wypada korzystnie, zwłaszcza w wielowymiarowych przestrzeniach poszukiwań.

To, że różnica w sprawności przekraczania siodła między modelem *twarda selekcja i makromutacje* i modelem *miękka selekcja i sekwencje mikromutacji* ma praktycznie charakter jakościowy demonstruje dobitnie Ilustracja 2, gdzie porównano oczekiwaną liczbę prób potrzebnych do przekroczenia siodła o szerokości do 30σ . Miękka selekcja umożliwia przekraczanie siodła, które dla twardej selekcji są nie do pokonania.



Ilustracja 2. Porównanie sprawności miękkiej i twardej selekcji w przekraczaniu siodła. Testowano siodła, jakie przedstawia Ilustracja 1. Na wykresach podano oczekiwaną liczbę prób do znalezienia rozwiązania lepszego niż lokalnie optymalne w przypadku twardej (—) i miękkiej (—□—) selekcji. Dane dla miękkiej selekcji pochodzą z uśrednienia 200 przebiegów symulacyjnych. Jednostką szerokości siodła jest odchylenie standardowe modyfikacji σ . Populacja liczyła 8 elementów. Można zauważyć praktycznie jakościową różnicę między dwoma rodzajami selekcji. Miękka selekcja potrzebuje mniej prób na przekroczenie siodła o szerokości 30σ , niż twarda selekcja na przekroczenie siodła o szerokości 3σ .

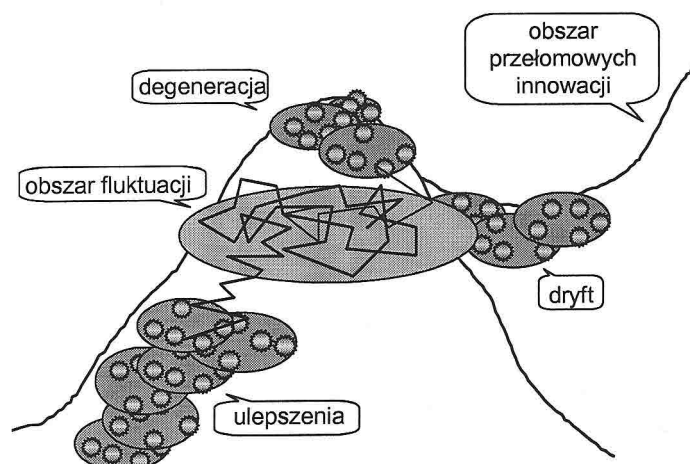
Konkretny przebieg procesu przekraczania siodła przez symulowaną ewolucję przedstawia Ilustracja 3. Jest to przebieg dość typowy, trzeba jednak podkreślić, że między poszczególnymi realizacjami występują ogromne różnice — odchylenie standardowe liczby prób do przekroczenia siodła jest rzędu oczekiwanej liczby prób. Często przejścia przez siodła nie zachodzą za pierwszą próbą, jak w przypadku przedstawionym na ilustracji, ale dopiero po kilku nieudanych próbach (zapoznane innowacje).



Ilustracja 3. Dwanaście klatek symulowanej ewolucji. Populacja 16 próbek ewoluuje w 4-wymiarowym krajobrazie adaptacyjnym (jak na Ilustracja 1). Szerokość siódła przekracza 20σ . Kropki reprezentują próby zaistniałe w trakcie dotychczasowej ewolucji — odcięta odpowiada jakości, a rzędna położeniu względem siódła. Jasne punkty reprezentują próby z ostatniej generacji.

- Pierwsza klatka pokazuje stan po pierwszych 22 generacjach. Ewolucja wystartowała na lewym skraju rysunku z populacją złożoną z 16 identycznych osobników. Był to okres szybkich ulepszeń — łatwo określić kierunek i tempo zmian.
- Druga klatka pokazuje sytuację po 83 generacjach. Widać już, że osiągnięto optimum lokalne. Populacja fluktuuje teraz wokół lokalnego wierzchołka adaptacyjnego, który stanowi pułapkę ewolucyjną. Proces osiągnął stan stochastycznej quasi-równowagi.
- Kolejne osiem klatek ilustruje rozwój sytuacji w trakcie następnych 20 tysięcy generacji — sytuacja się nie zmienia, nie widać żadnych trendów rozwojowych. Populacja przemieszcza się wokół wierzchołka, jej średnia jakość (poziom adaptacji) wynosi zwykle od 70% do 90% jakości lokalnie optymalnej. Zauważmy, że zarejestrowana historia praktycznie nie dostarcza wskazówek, że można znaleźć coś lepszego, niż dawno już zidentyfikowane optimum lokalne. Można jedynie zauważyć, że odchylenia w jednym z kierunków przynoszą nieco mniejsze pogorszenia jakości niż podobne przemieszczenia w innych kierunkach. Taki efekt dotyczy jednak tylko jednego osobnika na 10 000 i kierunków w przestrzeni o 4 wymiarach. Pozornie racjonalna konkluzja po 447 000 prób: skoro nic lepszego niż lokalne optimum dotąd nie znaleziono, to widocznie nic lepszego nie istnieje.
- Klatka jedenasta pokazuje sytuację w chwilę po przełomie. W generacji numer 29756 jedna z prób odległych od lokalnego optimum adaptacyjnego osiągnęła jakość lepszą, niż najlepsza z dotychczasowych prób. Już 48 generacji później populacja była blisko szczytu drugiego wzgórza adaptacyjnego, a jej średnia jakość uległa podwojeniu.
- Klatka dwunasta pokazuje stan procesu prawie 2000 generacji od dokonanego przełomu. Znany już obraz równowagi stochastycznej istnieje teraz wokół wyższego wierzchołka. Jest oczywiste, że w krajobrazach adaptacyjnych, składających się z łańcuchów tego typu wzgórz, okresy ciągłego, stopniowego rozwoju, to jedynie względnie krótkie epizody, które w odpowiedniej perspektywie wyglądają jak gwałtowne skoki.

Istota skuteczności miękkiej selekcji w przekraczaniu siodła zawiera się w tym, że pod jej wpływem ewoluujące populacje nie skupiają się w optimum lokalnym (jak by to miało miejsce pod wpływem twardej selekcji), lecz fluktuują wokół tego optimum. W tym stanie są, w pewnym sensie, przyciągane do grzbietów prowadzących w stronę siodła (jako obszarów, w stronę których zbocza adaptacyjne opadają wolniej niż w pozostałych kierunkach). Powoduje to kumulację prób w obszarach siodła, a to zwiększa szanse na ich przejścia — Ilustracja 4.



Ilustracja 4. Dynamika ewolucji z miękką selekcją.

Można też pokazać¹⁴, że czynnikami sprzyjającymi przekraczaniu siodła są: niewielka liczebność populacji, reprodukcja aseksualna (bez rekombinacji) i wariancja środowiskowa. Jednocześnie, zarówno miękka selekcja jak i inne wymienione czynniki powodują, że średni poziom adaptacji w już zlokalizowanym optimum jest niższy, niż było by to możliwe. Ta różnica może być interpretowana jako cena, którą populacja płaci za zachowanie zdolności rozwojowych. Twarda selekcja umożliwia odzyskanie tej różnicy ale jednocześnie blokuje rozwój — Ilustracja 5.

Strategie rozwojowe z perspektywy krajobrazów adaptacyjnych

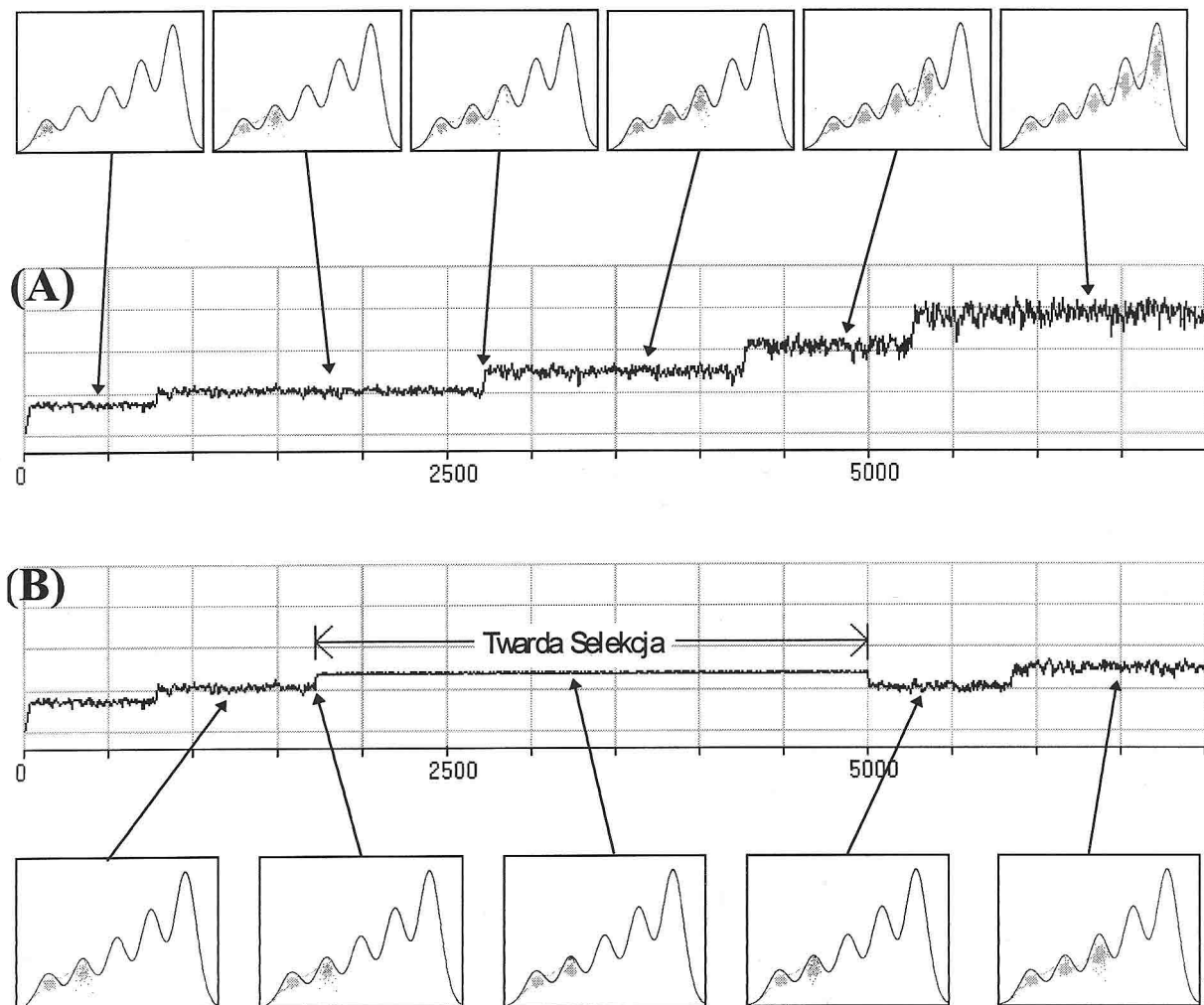
Przedstawione wyniki badań nad przekraczaniem siodła adaptacyjnych przez ewoluujące populacje sugerują powody dla których strategie B+R, po niewątpliwych początkowych sukcesach, doprowadziły do zaniku innowacyjności. Strategie te zmodyfikowały XIX wieczny *modus operandi* nauki, w ramach którego badacze-dżentelmeni zajmowali się zjawiskami, które budziły ich osobiste zainteresowanie. Wprowadzały one coraz twardszą selekcję tematów (rozwijanie najlepszych z dotychczasowych rozwiązań), wielkie populacje (koncentracja wysiłków zespołowych), rekombinacje cech (koordynacja i wymiana doświadczeń) i redukowały wariancję środowiskową (obiektywizacja ocen). Tak zmodyfikowane procesy ewolucyjne szybko i dokładnie odnajdują szczyty rozpoznanych możliwości. Te szczyty okazują się jednak pułapkami ewolucyjnymi — wyżej iść nie sposób, a pójście dalej, wymaga szukania na marginesach. Do takich poszukiwań, prowadzących do przekraczania siodła (innowacji przełomowych), populacje skoncentrowane na lokalnych szczytach adaptacji nie są zdolne. Marginesy tolerowane w sprawnie zarządzanych instytucjach badawczych są zbyt wąskie, ponadto okres ewentualnej tolerancji jest zbyt krótki. Można więc twierdzić, że rosnący poziom badań przy ich malejącej innowacyjności jest dokładnie tym, czego po strategiach B+R należało oczekiwać.

Strategie B+R przynoszą efekty, dopóki w otoczeniu znajdują się zarodki, w postaci już dokonanych innowacji przełomowych, które systemy B+R mogą rozwijać. Jednocześnie, w obrębie działania takich strategii następuje likwidacja nisz, w których innowacje przełomowe mogły by się pojawiać. Jeśli, jak utrzymywał Popper, są to *nieprzewidywalne akty geniuszu*, to jak wystąpić o grant na ich dokonanie? Nie powinno więc dziwić, że zgodnie z danymi amerykańskiej National Science Foundation (1988), 98% radykalnych ulepszeń pochodzi z

¹⁴ R. Galar, *Simulation of local evolutionary dynamics of small populations*. Biol Cybern, 65:37–45, 1991

małych firm. Nie powinno też dziwić, że Japończycy, którzy swój system B+R uważają za niezrównany od strony wdrożeniowej, szukają dla niego po świecie *seeds*¹⁵.

Mocnym argumentem potwierdzającym, iż kryzys innowacyjny istotnie ma miejsce, są podejmowane ostatnio usiłowania reformy sfery B+R. W Japońskiej Białej Księdze znajdujemy taką opinię: *W promowaniu nauk podstawowych należy zwrócić uwagę na fakt, że związane z*



Ilustracja 5. Efekty wprowadzenia twardej selekcji w spontanicznie ewoluującej populacji. Wykresy (A) i (B) przedstawiają przebieg w czasie średniej jakości populacji 32 elementowej, która ewoluje w przestrzeni 4 wymiarowej, w krajobrazie adaptacyjnym składającym się z pięciu wzgórz oddzielonych siodłami o szerokości około 14σ i profilu przedstawionym w ramkach. W ramkach przedstawiono też ślad ewolucji we wskazanych fazach procesu. Ewolucja (B) różni się od (A) tym, że w czasie gdy populacja przebywała w otoczeniu drugiego wierzchołka wprowadzono na pewien okres twardą selekcję. W rezultacie:

- populacja (B) bardzo szybko skupiła się na szczycie drugiego wzgórza, a jej średnia jakość osiągnęła maksymalną wartość możliwą w tym cyklu rozwoju;
- dalsza ewolucja (B) uległa zablokowaniu — w tym czasie populacja (A) przeszła dwa kolejne cykle rozwoju, osiągając, mimo rozproszenia, wyższą jakość średnią niż (B);
- po wyłączeniu twardej selekcji populacja (B) odzyskała możliwość rozwoju, ale zostało to okupione spadkiem średniej jakości do poprzedniego poziomu.

¹⁵ Poszukiwanie nowych zarodków innowacyjnych jest celem ponad 40% z ponad 200 firm japońskich, z kapitałem ponad pół miliarda dolarów, które w latach 1990–95 założyły ponad 500 ośrodków badawczych za granicą, głównie w Europie i USA; *White Paper*, op. cit.

nimi rezultaty bardziej zależą od talentów poszczególnych badaczy niż od zespołów. Jest w tym celu niezbędne wspieranie indywidualności w sposób, który umożliwi im osiągnięcie wysoce kreatywnych wyników poprzez nieskrępowane myślenie. Istnieje też konieczność promowania badań interdyscyplinarnych, w których badacze z różnych dziedzin wykraczają poza swoje własne obszary w celu wymiany idei i w tym procesie dochodzą do nowych pomysłów.¹⁶ Koncepcja finansowanych przez UE *open projects* opiera się na założeniu, że przełomowych innowacji należy oczekiwać w wyniku bardzo ryzykownych pomysłów, które to pomysły pochodzić mogą równie dobrze od absolwentów, co noblistów. Niektórzy twierdzą, że tradycyjny system organizacji uprawiania badań, określany jako *Mode 1*, jest obecnie wypierany przez bardziej wydajny *Mode 2*: mniej instytucjonalny, hierarchiczny i „dyscyplinowy”, a bardziej rozproszony, elastyczny i zadaniowy.¹⁷ Tego typu koncepcje wyraźnie odchodzą od dotychczasowej praktyki — problem w tym, czy we właściwym kierunku. Są w nich aspekty nie wzbudzające zaufania.

Istota *Mode 2* zdaje się polegać na wprowadzeniu schematów reorganizacyjnych, które zastosowano w przemyśle USA w latach osiemdziesiątych (*meaner and leaner*), natomiast koncepcje japońskie zdają się zmierzać do wzbogacenia socjalnego darwinizmu konwencjonalnego modelu B+R mechanizmem makromutacji. Jeśli omawiany tu model ewolucyjny jest poprawny, to reformy takie nie wystarczą. Wprowadzenie *Mode 2* zaostrzy jeszcze procesy selekcyjne i skróci horyzont badań, zaś dopuszczenie kontrolowanego ryzyka badawczego nie zda się na wiele, bo innowacje przełomowe nie są wynikiem skoków, tylko długotrwałej i spontanicznej penetracji siodeł. Obie koncepcje reformy opierają się też na założeniu, że możliwe jest aprioryczne rozpoznanie właściwego kierunku poszukiwań.

Japończycy chcą *promować wolność badań*, pod warunkiem, że *dokonano odpowiednich ocen* oraz zapewnić *lepsze traktowanie błyskotliwych badaczy oparte na właściwej ocenie*. Europejczycy żądają, by *jasno określić wymierne korzyści*, które mają wynikać z przedkładanych, ryzykownych pomysłów. Wymogi takie, w odniesieniu do innowacji przełomowych, zderzają się z przykładami, iż nawet najwięksi nie dysponowali żadaną tu przenikliwością:

- Kopernik chciał jedynie oczyścić starożytną grecką astronomię z nowinek Ptolemeusza,
- Mendelejew sądził, że radioaktywność jest sprzeczna z jego teorią,
- Hertz uważał za naiwny sąd, że fale radiowe znajdą zastosowanie w komunikacji,
- Faraday mówił o elektryczności: *jakiż może być pożytek ze świeżo narodzonego dziecka?*

Prowadzona obecnie polityka B+R, ukierunkowana na eksploatację idei już istniejących, jest racjonalna, pod warunkiem zapewnienia dopływu idei nowych. Należy ją nie tyle zmienić, co uzupełnić polityką ukierunkowaną na generowanie takich nowości. Podstawową cechą tej drugiej polityki winno być przejście od *twardej* do *miękkiej selekcji* tematów badawczych. (Dla uniknięcia nieporozumień warto mocno podkreślić, że propagowanie miękkiej selekcji, to nie wezwanie do anarchii — to postulat umiaru w selekcji, nie zaś jej odrzucenia — brak selekcji wyklucza rozwój.)

Miękka selekcja jest jednak lekceważona. Dowodów i opinii wskazujących na jej kreatywne oddziaływanie jest legion, a mimo to nie istnieje ona jako kategoria przywoływana w decyzjach dotyczących strategii rozwojowych. Wygląda to na klęskę doświadczenia w zderzeniu z symplicystycznymi przeświadczeniami o naturze rzeczywistości, takimi jak:

- precyzyjniej znaczy lepiej,
- porządek jest zawsze korzystniejszy od bałaganu,
- nagroda winna być proporcjonalna do zasług,

¹⁶ *White Paper*, op. cit.

¹⁷ M. Gibbons, *New Imperatives for Science Policy in Central and Eastern Europe*, in Kukliński A. (ed.) *Production of Knowledge and the Dignity of Science*, Euroreg, Warsaw, 1996

- trzeba (da się!) oceniać długofalowe konsekwencje podejmowanych działań,
- polepszanie sytuacji krok po kroku, prowadzi do najlepszej możliwej sytuacji,
- nie istnieją „trzecie drogi” rozwoju (słuszne w świecie jednowymiarowym!),
- działania zaplanowane są bardziej skuteczne od spontanicznych.

Poglądy takie pozostają w bezpośrednim związku z triumfującą dziś legalistyczną wizją rzeczywistości i sprzyjają podejmowaniu decyzji w oparciu o linearne modele przyczynowo-skutkowe. U ich podstaw leży skłonność do traktowania historii nie jako rozwijającej się gry możliwości, ale jako procesu ukierunkowanego na cel i to taki, który udało się (wreszcie) zidentyfikować. To, że świat zorganizowany według takich zasad musi być światem bez przełomów innowacyjnych umyka uwadze. Konrad Lorenz używał terminu *racjomorfizm* dla określenia aplikacji zdolności predykcyjno-projekcyjnych naszego gatunku, (które są częścią ewolucyjnie ukształtowanego aparatu percepcji), poza obszarem ich racjonalności. Argumentował: *Badacz nie wie, co znajdzie, jego postrzeganie postaci udziela mu tylko informacji w jakim kierunku węszyć coś interesującego.*¹⁸

Podsumowanie

Pod koniec XX wieku kompleks B+R znalazł w nieoczekiwanych w kłopotach, które mogą przejść w kryzys. Powodem jest narastająca od lat sześćdziesiątych jałowość innowacyjna. Grozi to wyhamowaniem postępu i załamaniem dominującego modelu życia. Mimo pewnych uroków takiej zmiany, byłaby ona w obecnej sytuacji niebezpieczna. Jako cywilizacja zadłużyliśmy się bowiem na konto niedokonanych jeszcze wynalazków, kreując problemy, których bez tych wynalazków nie potrafimy rozwiązać (zdrowie, środowisko, energia).

Stosowana polityka B+R nastawiona jest na „produkcję innowacji”, poprzez profesjonalne doskonalenie i kojarzenie już istniejących idei. Choć dotyczy najbardziej racjonalnych działań człowieka, to opiera się w gruncie rzeczy na kilku obiegowych metaforach dotyczących natury postępu, przeświadczeniach o zaletach planowania i na sprawdzonych w przemyśle metodach organizacji (ignoruje natomiast praktyczne wskazówki ukryte w systematycznie paradoksalnych okolicznościach występowania innowacji przełomowych). Są powody by sądzić, że taka baza pojęciowa nie wystarcza. Analiza dynamiki ewolucji w krajobrazie łańcuchów wzgórz adaptacyjnych ukazuje, że załamanie innowacyjności może być konsekwencją doskonalenia procedur sterowania sferą B+R.

Sterowania te sprzyjały eksploatacji już istniejących innowacji przełomowych, co wiąże się z precyzyjnym dochodzeniem do już zlokalizowanych optimów lokalnych. Innowacje przełomowe powstają jednak w wyniku przejść przez siodła adaptacyjne, to zaś wymaga odchodzenia od aktualnych optimów. Dawniej, opór materii (zwłaszcza niedostatki informatyczne) pozwalał godzić dążenia eksploatacyjne z eksploracyjnymi. Przełamanie tego oporu spowodowało, że działania te wzajemnie się wykluczają, choć winny się uzupełniać. Sytuacja ma znamiona pułapki. Systemy służące perfekcyjnej obróbce i wdrażaniu do realizacji nowych pomysłów wprowadzono, gdy istniał duży zasób powstałych spontanicznie oryginalnych idei — okazały się one wtedy niezmiernie owocne w aplikacji. Skutkiem ekspansji tych systemów było jednak zablokowanie powstawania istotnie nowych pomysłów, co, po pewnym czasie, ograniczyło efektywność całej sfery B+R. Reakcją na malejącą efektywność była intensyfikacja „sprawdzonych” oddziaływań sterujących, co na krótką metę dawało pewne efekty, a na długą pogarszało jeszcze sytuację.

Dziś trudno o powrót do spontanicznego rozwoju, trudno też liczyć na wypracowanie polityki naukowej harmonijnie godzącej pęd do perfekcji ze stymulowaniem radykalnie nowych idei.

¹⁸ K. Lorenz, *Regres człowieczeństwa*, Tłum. A. D. Tauszyńska, PIW, Warszawa, 1986

W tej sytuacji sensowny wydaje się postulat dwu współbieżnych polityk B+R: obecnej, technologicznej, nastawionej na innowacje przyrostowe i skojarzeniowe i nowej, organicznej, nastawionej na innowacje przełomowe. Polityki te winny zasadniczo różnić się koncepcją — gdy obecna zmierza w istocie do *produkowania innowacji przyrostowych*, ta druga winna mieć na celu *hodowanie innowacji przełomowych*. Jak wiadomo, tym co warunkuje powodzenie zabiegów hodowlanych, jest istnienie dzikich populacji stanowiących rezerwuár różnorodności, z którego można wybierać materiał do ulepszeń. W tym przypadku idzie o różnorodność koncepcji.

Analiza dynamiki ewolucyjnego przekraczania siodła pozwala wskazać na pożądane atrybuty organicznej polityki B+R stwarzającej możliwość odblokowania innowacyjności:

- nastawienie raczej na wielki sukces wyjątkowo, niż na „wymierny rezultat” każdorazowo;
- bardziej gra z naturą, niż planowanie (nie da się z góry ocenić, gdzie szukać przełomu);
- bardziej patronowanie osobowościom, niż finansowanie zadań (jak wyżej);
- badania na ubocznych raczej, niż wiodących kierunkach (tam można oczekiwać siodła);
- bardziej spolegliwość, niż sprężysta organizacja (miękka selekcja);
- bardziej kameralne zespoły, niż globalne fora (małe populacje lepiej przechodzą siodła);
- raczej swoboda twórcza, niż sterowanie (przekraczanie siodła ma charakter dryftu);
- raczej otwarte terminy, niż naciski harmonogramów (nie dają się sensownie ustalić);
- bardziej ufność w integralność badacza, niż kontrola postępów prac (nie ma sposobu).

Wymienionym zaleceniom można zarzucić, że są sprzeczne z ustalonymi praktykami sprawnej administracji. Można dowodzić, że proponowany system otworzyłyby dostęp do funduszy publicznych rozmaitym hochsztaplerom. To prawda. Trzeba jednak zauważyć, że historycznie takie właśnie okoliczności towarzyszyły na ogół innowacjom przełomowym.

Praktyczne kroki, które należałoby przedsięwziąć, nie są oczywiste, jest jednak jasne, że proponowane zmiany wymagałyby odrestaurowania takich staromodnych konceptów, jak godność nauki, wiedza jako cel sam w sobie, nauka jako powołanie, czy postawa badacza dżentelmena¹⁹. Są to cele godne, ale przy obecnych nastawieniach niezbyt realistyczne.

¹⁹ A. Kukliński, *Creation of Knowledge and the Dignity of Science*, In Kukliński A. (ed.) *Production of Knowledge and the Dignity of Science*, Euroreg, Warsaw, 1996