XX Szkoła Symulacji Systemów Gospodarczych
Polanica Zdrój 2003

Witold KWAŚNICKI*

# SKANALIZOWANE ŚCIEŻKI ROZWOJU PRZEMYSŁU

W pierwszej części artykułu opisano koncepcję 'samowarunkujacych się ścieżek rozwoju' (*path-dependence*), związany z tą koncepcją postulat rosnących przychodów (*increasing returns*) oraz ideę blokad rozwoju (*lock-in*). W drugiej części przedstawiono analogiczna koncepcję biologiczną 'skanalizowanych ścieżek rozwoju' (*canalized pathways of change*), nazywanych przez C.H. Waddingtona *chreodami*. Interesującym jest, że zarówno ekonomiczna idea 'samowarunkujacych się ścieżek rozwoju' jak i biologiczna koncepcja chreodów rozwinęły się niezależnie od siebie, odnoszą się do różnych typów procesów ewolucyjnych, ale wnioski z nich wynikające są do siebie bardzo zbliżone. Uzupełnieniem tych rozważań są wyniki symulacji komputerowych ewolucyjnego modelu rozwoju przemysłu ilustrujące warunki sprzyjające kanalizacji rozwoju w procesach w których obecne są ewolucyjnych mechanizmy selekcji (konkurencji) i generowania nowości (innowacji).

## 1. 1. ŚCIEŻKI ROZWOJU, ROSNĄCE PRZYCHODY I BLOKADY ROZWOJU

Idea zależności trajektorii rozwoju systemu gospodarczego od przeszłej ścieżki rozwoju wyłoniła się w ekonomii w latach 1980. jako swego rodzaju alternatywa do ortodoksyjnego, mechanistycznego widzenia rozwoju gospodarczego. Ta swego rodzaju rewolucyjna koncepcja zyskała spore zainteresowanie dzięki wysiłkom badawczym Paula Davida (np. 1985, 1995, 2001) i Briana Arthura (np. 1989, 1990, 1994, 1996). Po prawie dwudziestu latach dyskusji wokół tego tematu liczba publikacji odnoszących się do tej problematyki jest bardzo duża. Jak to zwykle bywa z nowymi, potencjalnie rewolucyjnymi ideami, koncepcja 'ścieżek rozwoju' (*path-dependence*) ma swoich gorących zwolenników, ale ma też równie gorących przeciwników. Jeśli chodzi o krytyków to przede wszystkim wymienić tutaj należy dwa nazwiska, mianowicie Stana Liebowitza i Steve'a Margolisa (np. 1994, 1995, 1996)[1].

---

* Instytut Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Wrocławski, kwasnicki@prawo.uni.wroc.pl

[1] niektóre publikacje wspomnianych autorów znaleźć można w Internecie pod adresami:
W. Brian Arthur: http://www.santafe.edu/arthur/
Paul David: http://www.economics.ox.ac.uk/People/Members/DavidPA.htm

Brian Arthur czyni rozróżnienie pomiędzy "ekonomią konwencjonalną" (*conventional economics*), która odrzuca koncepcję rosnących przychodów i ścieżek rozwoju oraz "nową ekonomią", nazywaną przez niego też "ekonomią dodatniego sprzężenia zwrotnego" (*positive feedback economics*), która obie te koncepcje uznaje za fundamentalne [Arthur 1990, s. 99]. Idea ścieżek rozwoju jest ściśle powiązana z propozycją badawczą, obecną w ekonomii od wielu dziesięcioleci uznającą znaczenie historii rozwoju instytucji ekonomicznych za istotne w zrozumieniu mechanizmów rozwoju procesów gospodarczych. Częstym wyrazem tego stanowiska jest używanie przez zwolenników tego podejścia określenia „historia ma istotne znaczenie" (*history matters*).

Stanowisko Briana Arthura [1989] względem ścieżek rozwoju najlepiej określa często używana przez niego fraza „zablokowanie rozwoju przez zdarzenia historyczne" ("*lock-in by historical events*"). Podstawowym wnioskiem z badań Briana Arthura nad znaczeniem dodatniego sprzężenia zwrotnego w ekonomii jest stwierdzenie, że nieefektywność wielu procesów gospodarczych wynika z istnienia w tych procesach zjawiska rosnących przychodów i tzw. 'efektów sieci' (*network externalities*).

Zasadniczym powodem istnienia ścieżek rozwoju na poziomie instytucjonalnym jest istnienie wspomnianych efektów sieci, korzyści skali oraz komplementarności w obrębie danej matrycy instytucjonalnej. W dużym uproszczeniu możemy powiedzieć, że efekty zewnętrze sieci to specyficzne zachowanie się społeczności, w której każdy jej członek akceptuje pewne wzorce postępowania w zależności od tego jak wielu innych członków tej społeczności już zaakceptowało dany wzorzec. Dlatego możemy mówić o dodatnim sprzężeniu zwrotnym, bo czym więcej ludzi zaakceptowało dany wzorzec tym większa jest zachęta by pozostali członkowie tej społeczności również zaakceptowali go jako ich sposób postępowania. Tym tłumaczy się powstanie wielu standardów w technice i przemyśle, przykładowo dominacja systemu operacyjnego *Windows* w komputerach klasy PC może być wynikiem funkcjonowania tego efektu. Czym więcej ludzi zaakceptowało *Windowsy* jako podstawowy system operacyjny tym więcej innych ludzi myślało to tym by także go zainstalować na swoim komputerze, bo ułatwiało to komunikację, wymianę oprogramowania i wspomagało współpracę. To w jaki sposób występują takie efekty zewnętrzne sieci staje się jednym z tzw. gorących tematów badawczych we współczesnej analizie ekonomicznej. Duża rolę w tym procesie odgrywają pojedyncze zdarzenia losowe powodujące 'zwekslowanie' bieżącej trajektorii rozwoju na inną trajektorię, inicjując w ten sposób zasadniczo odmienny typ rozwoju (tutaj można wskazać na analogiczną dyskusję zainicjowaną w latach 1970 przez Rene Thoma w ramach teorii katastrof o istnieniu tzw. punktów bifurkacji). W tym kontekście można powiedzieć, że istnienie efektów zewnętrznych sieci wynika z istotnego wpływu na rozwój gospodarczy osób i organi-

---

Stan Liebowitz: http://www.utdallas.edu/~liebowit/

zacji, które w wyniku specyficznego procesu historycznego zdobyły ponadprzeciętna 'władzę' i są w stanie określać warunki gry na rynku.

Dyskusja wokół tej problematyki jest w ostatnich dekadach bardzo gorąca. Ścieranie się poglądów zwolenników i przeciwników *path-dependence (samowarunkujących się ścieżek rozwoju*) przyczyniło się do zmiany stanowiska jednego z twórców tej idei, Paula Davida, które stało się bardziej elastyczne. Natomiast drugi ze wspomnianych badaczy, twórców współczesnej wersji tej teorii, Brian Arthur, wyraźnie usztywnił swoje stanowisko.

Paul David odnosi koncepcję *path-dependence* do znanej w teorii procesów stochastycznych koncepcji procesów nieergodycznych. W procesach nieergodycznych prawdopodobieństwo wystąpienia jakiegoś zdarzenia w przyszłości zależy od przebiegu tego procesu w przeszłości. W odróżnieniu od procesów ergodycznych, charakterystyki statystyczne procesów nieergodycznych zależą od czasu (są funkcją czasu). W procesie ergodycznym, przykładowo, wartość średnia czy odchylenie standardowe jakiejś zmiennej nie zależy od długości obserwacji i jest niezależne od momentu początku tej obserwacji. W procesie nieergodycznym tak już nie jest, charakterystyki te zależą zarówno od długości obserwacji jak od momentu początku tej obserwacji. Przenosząc tę koncepcję na grunt procesów społeczno-gospodarczych mówi się często, że procesy tego typu są w stanie uczyć się. Jak pisze Paul David [2001]: *"Path dependence, ....*, odnosi się do własności dynamicznych procesów alokacyjnych. Może być definiowana w dwojaki sposób: jako wzajemna zależność pomiędzy dynamiką procesu a stanami do których zmierza ten proces lub jako graniczny rozkład prawdopodobieństwa procesu stochastycznego leżącego w sferze zainteresowań." W tej samej publikacji Paul David proponuje dwie definicje *path-dependence*, mianowicie, negatywną: "*O procesach, które są nieergodyczne i stąd nie są w stanie uwolnić się od swojej historii mówimy, że procesami które generują wyniki zależne od ścieżki przeszłej ścieżki rozwoju (yield path dependent outcomes)*", i pozytywną: "*Stochastyczny proces jest procesem* path-dependent *jeśli rozkład asymptotyczny do którego zmierza, powstaje jako wynik (funkcja) jego własnej historii"*.

Ta druga definicja opisuje proces jako "mnogość rozkładów asymptotycznych" ("*a multiplicity of asymptotic distributions*") i może być uznana jako opisująca procesy rozgałęziania (*branching processes*), w których prawdopodobieństwa przechodzenia od jednego do drugiego stanu systemu są funkcją stanów przez jakie dany system przeszedł w przeszłości [David 2001].

Używając terminologii Briana Arthura [1989] możemy powiedzieć, że systemy takie mogą utknąć w swoim rozwoju (*locked-in*), przez co rozumie on możliwość takiego rozwoju sytemu, że jego trajektoria wchodzi w region będący swego rodzaju pułapką z której prawdopodobieństwo wyjścia jest niezmiernie małe. Jedynym sposobem ucieczki z takiej pułapki jest (zdaniem Arthura) interwencja jakiejś zewnętrznej siły lub szok rozwojowy, zmieniające strukturę systemu lub w radykalny sposób przekształcające wzajemne relacje zachodzące pomiędzy zaangażowanymi podmiotami.

Zatem systemy *path-dependent* o wielu punktach równowagi, których prawdopodobieństwo osiągnięcia zależy od losowych zdarzeń, mogą zatrzymać się w rozwoju w stanie optymalnym, w innych stanach, których jakość niewiele odbiega od optymalnego ale mogą też wejść na ścieżkę rozwoju prowadzącą do stanów, których jakość daleka jest od wartości optymalnych i których każdy zaangażowany podmiot chciałby uniknąć [David 2001].

Istotą argumentacji Briana Arthura jest to, że uznaje on za wielce prawdopodobne możliwości rozwoju systemów społeczno-gospodarczych w kierunku gorszych standardów (*inferior standards*) i zaakceptowania ich jako stabilne w długim okresie czasu. Dzieje się tak wtedy, kiedy krytyczna liczba ludzi zaakceptuje pewne standardy rozwiązań, które wydają się im tańsze (lub bardziej wartościowe) i w ten sposób przyciągają pozostałych członków społeczności do zaakceptowania tegoż standardu.

Po opublikowaniu idei *path-dependence*, została ona połączona z innymi teoriami opisującymi tendencje rynków zaawansowanych technologii, sprzyjających powstawaniu monopoli, w których jeden producent oferuje produkty, które nie zawsze muszą być najlepszymi. Celują w tym zwłaszcza historycy rozwoju technologicznego i podają takie przykłady tego typu procesów takie jak: dominacja klawiatury (w maszynach do pisania i w komputerach) typu QWERTY, która ich zdaniem jest znacznie mniej efektywna w pisaniu niż klawiatura zaprojektowana przez Dvoraka; standard nagrywania video VHS, który zdaniem zwolenników tej teorii jest gorszy od standardu Beta, oraz wspomniany system DOS, znacznie gorszy od systemu operacyjnego stosowanego w komputerach Apple.

Brian Arthur, po fali krytyki jego koncepcji *path-dependence* broni swojego stanowiska, m.in. w wywiadzie dostępnym w internecie *The PreText interview*[2]. Uznaje on swoją koncepcję rosnących przychodów (*increasing returns*) jako formę dodatniego sprzężenia zwrotnego. Jego zdaniem jest to koncepcja bliźniacza do neoklasycznej koncepcji malejących przychodów (*diminishing returns*). Mówiąc jego słowami: "podczas gdy malejące przychody dominują neoklasyczną ekonomię tak rosnące przychody dominują przemysły zaawansowanych technologii". Procesy rozwoju zaawansowanych technologii wpadają w bruzdę ("*grooves-in a path*"). Przytacza on analogię do deszczu padającego na piaszczyste zbocze góry. Pierwsze krople deszczu w sposób całkowicie przypadkowy określają drogi strumyków, którymi woda będzie spływała w doliny. Ważne jest, że jakiekolwiek zastosowalibyśmy kryterium dla spływajacej wody, to mało prawdopodobne jest by osiągało ono maksimum w każdym konkretnym przypadku.

Na pytanie: "*Czy teoria rosnących przychodów jest nadal teorią kontrowersyjną?*" Arthur szybko i zdecydowanie odpowiada: "*Absolutnie nie. Znalazła ona całkowite potwierdzenie w rozwoju Silicon Valley*".

---

[2] zobacz http://www.pretext.com/may98/columns/intview.htm.

Wydaje się, że środowisko zwolenników teorii *path-dependence* podzieliło się na dwa obozy. Dla jednych *path-dependence* oznacza tyle, że historia rozwoju systemu istotnie wpływa na jego przyszły rozwój ("*history matters*") natomiast dla innych najważniejszy jest problem efektywności (a raczej nieefektywności) funkcjonowania systemu i możliwość dominacji rozwiązań nieoptymalnych.

Podczas gdy Paul David skłania się ku pierwszemu rozumieniu, to Brian Arthur w swoich pracach nt. *path dependence*, jak również wielu innych autorów (np. [Katz i Shapiro 1986], [Farrell i Saloner 1986]), skłaniają się ku drugiemu rozumieniu i kładą nacisk na ważną rolę rosnących przychodów, które spowodowane mogą być zarówno przez 'klasyczny' efekt ekonomii skali jak również przez efekt sieci (czym więcej ludzi akceptuje rozwiązanie tym bardzie pozostali pragną zastosować to rozwiązanie). Ekonomia rosnących przychodów prowadzi z reguły do istnienia wielości stanów równowagi, których wybór nie zawsze musi być optymalny. Prace teoretyczne jak i empiryczne o *path-dependence* zawierają wiele twierdzeń o nieefektywności rozwoju systemów w których zjawisko to jest obecne. Brian Arthur przytacza wiele przykładów tego rodzaju nieefektywności, standardowo jest to wspomniana nieoptymalność konstrukcji klawiatury typu QWERTY [1989], ale też: silnik wewnętrznego spalania (spalinowy, [1989]), system rejestracji magnetowidowej VHS [1990]. Podobnie Paul David [1985] w swoich pierwszych pracach podaje przykład klawiatury QWERTY jako jasny przypadek ułomności rynku (*market failure*). Paul Krugman w *Peddling Prosperity* poświęcił cały rozdział temu problemowi i zatytułował go "*Ekonomia QWERTY*". W rozdziale tym znajdujemy konkluzję, że "w świecie QWERTY rynek nie powinien się cieszyć zaufaniem" [1994].

Krytycy koncepcji *path-dependence* i rosnących przychodów, Liebowitz i Margolis [1998, 1998a] wskazują, że mogą istnieć dwa rodzaje efektów sieci: bezpośredni efekt sieci (w którym dominują wpływy natury fizycznej, dzięki czemu liczba kupujących określa wartość produktu (np. faksów, samochodów, czy telefonów) oraz pośredni efekt sieci (powstały jako produkt uboczny funkcjonowania rynku "*market mediated effects*") dzięki czemu dobra komplementarne (np. toner do drukarek) będąc tańszym lub bardziej dostępnym powoduje wzrost zakupu innych dóbr (np. drukarek). Zgadzają się oni, że rosnące przychody są obecne w gospodarce, ale w sytuacjach kiedy ekonomiści analizują dokładniej procesy w których obserwować możemy efekt rosnących przychodów to takich przypadków jest bardzo niewiele. W ogromnej większości przypadków, w procesach tych obserwowane jest działanie prawa malejących przychodów [Liebowitz i Margolis 1998a] a zjawiska postulowane przez Arthura i innych (jak dominacja jednego standardu, utknięcie w rozwoju) występują w tego typu systemach jako efekt działania naturalnych (ewolucyjnych) mechanizmów rozwoju. Zgadzają się oni, że "obserwacja współdziałania efektu sieci, rosnących przychodów i mechanizmów rynkowych może prowadzić do mylnych wniosków. Prawdą jest, że wiele technologii ewoluowało w kierunku jednego standardu (np. prawie wszystkie domowe magnetowidy pracują w systemie VHS), ale większość z nich uzy-

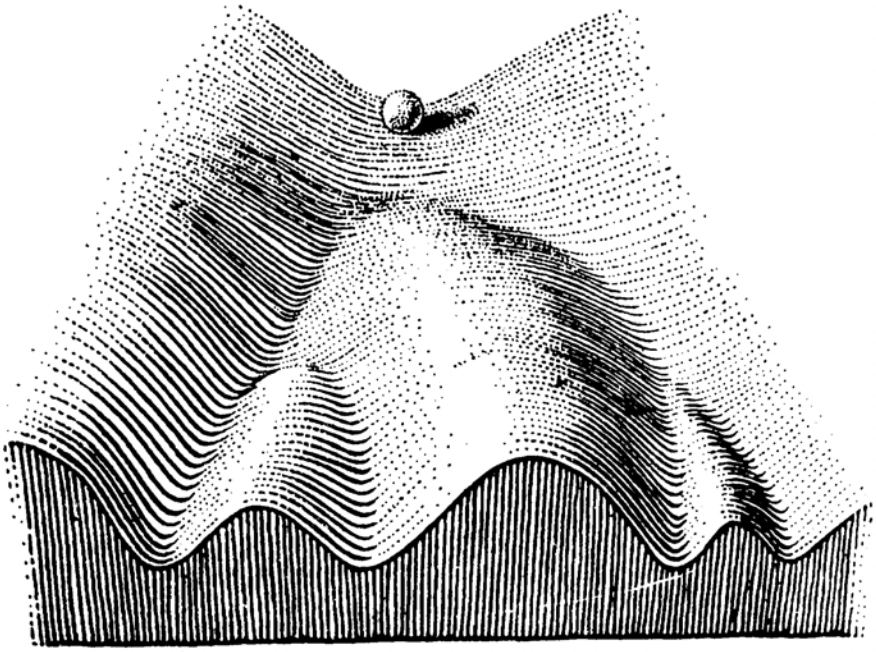
skała taką monopolistyczną pozycję nie dzięki efektowi sieci czy prawu rosnących przychodów. Nie powinniśmy się dziwić, że po bliższym przyjrzeniu jest to efekt różnic w funkcjonowaniu różnych standardów, które czynią, że po prostu jedne z nich są lepsze od innych i lepiej pasują do wymogów stawianych przez rynek" [Liebowitz i Margolis 1998a].

## 2. 2. CHREODY I PRZYPADKOWOŚĆ

Wydaje się, że w takich naukach jak biologia, fizyka i matematyka możemy zidentyfikować podobne koncepcje do idei *path-dependence* w ekonomii. W fizyce i w matematyce wskazać należy przede wszystkim koncepcje powstałe w ramach teorii chaosu zwłaszcza związane z obserwacją, że niewielkie zmiany warunków początkowych powodują drastyczną zmianę trajektorii rozwoju systemu dynamicznego. Systemy te są ze swej istoty nieliniowymi systemami deterministycznymi. Najczęściej specyficzne nieliniowości powodują wrażliwość tych systemów na warunki początkowe i właśnie ta wrażliwość powoduje, że mimo swego determinizmu zachowanie tych systemów często przypomina błądzenie losowe, w podobnym stylu jak obserwowane jest to w systemach probabilistycznych. Systemy te bardzo często zmierzają do pewnych wyróżnionych obszarów (zwanych atraktorami, a jeśli przyjmują specyficzną, nieregularną formę nazywanych 'dziwnymi atraktorami'). Systemy złożone, ze swej natury, wykazują wrażliwość na warunki początkowe, standardowym przykładem jest tutaj pogoda. W 1972 roku Edward Lorenz napisał często cytowany artykuł pt. "*Przewidywalność: czy trzepot skrzydeł motyla w Brazylii wywołał tornado w Teksasie*". Jego badania pokazały, że w takim złożonym systemie, jakim jest pogoda obserwować możemy regularne, wręcz 'matematyczne' formy, pojawiania się zawirowań i cyklonów, ale nigdy nie można stwierdzić by formy te powtarzały się. Pokazał on, że złożone systemy są trudno prognozowalne i nawet gdy znamy wszystko co można wiedzieć o stanie tego systemu to nigdy nie możemy przewidzieć jego przyszłego rozwoju w dłuższym okresie. Przyczyną tej niemożliwości prognozowania jest to, że przyszłe stany sytemu kształtują się w miarę tego jak system się rozwija. Wnioski Lorenza, i innych badaczy zaangażowanych w badania nad chaosem, jako żywo przypominają koncepcje *path-dependence*, ale (co ważne) by wyjaśnić tego rodzaju zjawiska nie postuluje się istnienia takich mechanizmów jak rosnące przychody czy efekt sieciowy.

W biologii podobna idea nazywana jest losowością (*contingency*) – nieodwracalną właściwością doboru naturalnego. Ideę tę spopularyzowali James Gleick [1987] i Stephen L. Gould [1991]. Natomiast Joel Mokyr [1991] w bardzo interesujący sposób pokazuje związki idei losowości w biologii i ideą *path-dependence* w ekonomii. W swej książce Mokyr przedstawia dużą liczbę przykładów, kiedy to *ex post* okazało się,

że to, co początkowo uznane zostało za potwierdzające hipotezę *path-dependence* okazało się być błędnie zakwalifikowanie jako przykład potwierdzający tę koncepcję.

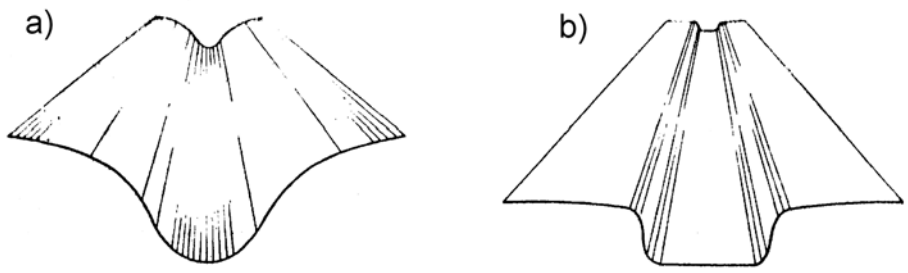


Rys. 1. Krajobraz genetyczny i chreody
Źródło: [Waddington 1974]

Literatura na temat chaosu i losowości w biologii jest przeogromna, ale też w większości aktualnie dostępna, dlatego też nie będziemy jej tutaj opisywać odsyłając czytelnika do pozycji bibliograficznych przedstawiony w spisie literatury na końcu tego artykułu. Nie jest to prawdą w przypadku idei 'koniecznych ścieżek rozwoju" (*necessary path*) albo inaczej *chreodów*. Koncepcja ta zaproponowana została przez Conrada H. Waddingtona (1905-75), brytyjskiego embriologa i genetyka, ponad 50 lat temu. Początkowo metafora ta użyta została przez Waddingtona do opisu procesu rozwoju komórek organizmów biologicznych, ale w swoich późniejszych pracach rozszerzył ją na procesy społeczno-gospodarcze. Waddington obrazuje rozwój pojedynczej komórki jako jej ruch w tzw. krajobrazie epigenetycznym. Zobrazował ten proces w swojej książce *Principles of Embryology* [Waddington 1956, s. 412] przez krajobraz składający się z wielu dolin określających różne możliwe historie rozwoju pojedynczej komórki (patrz rys. 1). Na początku "podróży" proces rozwoju komórki jest bardzo plastyczny, bez wyraźnie określonej drogi przyszłego rozwoju. Na tym etapie drogi przyszłego rozwoju każdej komórki nie są jasno widoczne i dopiero w

późniejszych fazach rozwoju stają się coraz to bardziej zdeterminowane, tak że od pewnego momentu ich rozwój nie może być w jakikolwiek sposób odwrócony.

Wyraźnie widać w tym modelu ideę kanalizacji rozwoju, którą to koncepcję Waddington przedstawił znacznie wcześniej, bo już w swojej pracy z początku lat 1940 [Waddingon 1941]. Napisał on tam: „reakcje rozwojowe ... są w ogólności skanalizowane. Przez co rozumieć należy ich własność osiągania jednego wyniku, niezależnie od pojawiających się w trakcie rozwoju niewielkich zmian warunków zachodzących reakcji". Dla Waddiningtona kanalizacja w żaden sposób nie jest równoznaczna z „ograniczeniami rozwojowymi" ("*developmental constraints*").




Rys. 2. Chreody o różnych typach stabilności
Źródło: [Waddington 1977]

Bardzo często ogólna wizja rozwoju systemów dynamicznych opiera się na koncepcji ujemnego sprzężenia zwrotnego, prowadzącego (niezależnie od występujących niewielkich zakłóceń) do osiągnięcia stabilnego punktu równowagi. Proces taki w teorii regulacji nazywa się homeostazą. Można podać dużą liczbę przykładów systemów homeostatycznych zarówno w biologii (niech jako przykład posłuży nam tutaj utrzymywanie stałej temperatury ciała u ssaków) jak również w systemach społeczno-gospodarczych (np. stabilizacja ceny w wyniku zrównoważenia popytu z podażą).

Jednakże dynamiczne systemy rozwoju podlegają stałym zmianom rozwijając się wzdłuż pewnych trajektorii rozwoju, od zapłodnionego jaja, poprzez różnego rodzaju stany larwalne aż do osiągnięcia starości. Regulacja w takich systemach nie jest regulacją stabilizującą rozwój na jakimś poziomie (jak w homeostazie) ale swego rodzaju rozwinięciem pewnej trajektorii rozwojowej w czasie. Zdaniem Waddingtona, odpowiednim słowem na tego rodzaju własność systemów dynamicznych jest *homeorheza*, co z greckiego znaczy tyle co zachowanie przepływu. Jak pisze Waddington:

> "Stabilizacja systemu postępowego (*progressive system*) polega na tym, że zmiany zachodzące w systemie w przyszłości będą tego samego rodzaju, jak zmiany zachodzące w przeszłości. Podczas gdy proces utrzymywania czegokolwiek w stanie stabilnym, albo stacjonarnym, nazywany jest homeostazą, to

> zapewnienie stałości pewnego rodzaju typu zmian nazywa się homeorheza ... Nazwa ta ma sugerować, że ścieżka rozwoju systemu ma charakter skanalizowany. Na nazwanie takiej ścieżki można użyć słowa chreod, słowa greckiego oznaczającego tyle, co 'konieczna ścieżka" [Waddington 1977]

Waddington wyróżnia różne typy chreodów. Jeśli porównamy zachowanie się wielu systemów wyróżnionego typu to możemy zauważyć małe albo duże różnice pomiędzy różnymi trajektoriami rozwoju tego typu systemów. Dla małych różnic możemy metaforycznie opisać ten typ rozwoju chreodem podobnym do wąskiej doliny (patrz 'rozpadlina' przedstawiona na rys. 2) natomiast dla względnie dużych różnic (jednakże z widocznym trendem rozwojowym) możemy powiedzieć, że chreod ma kształt doliny o szerokim płaskim dnie (jak to zobrazowano na rys. 2b).

Wydaje się, że mająca swą długą (choć mało znaną) historię koncepcja Waddingtona dobrze pasuje do opisu rozwoju systemów gospodarczych i w swej istocie zbieżna jest ze współczesnymi koncepcjami *path-dependence*. Wyniki symulacji rozwoju przemysłu uzyskiwane w modelach symulacyjnych (np. [Kwaśnicki 2003]) wykazują podobne właściwości. Warto jednak tutaj podkreślić, że taka 'chreodyczna' własność nie jest w jakikolwiek sposób wbudowana w model symulacyjny, ale jest wynikiem współgrania podstawowych mechanizmów rozwoju ewolucyjnego – selekcji i generacji nowych rozwiązań.

## 3. 3. EWOLUCYJNY MODEL ROZWOJU PRZEMYSŁU

Poniżej przedstawimy jedynie ogólny opis ewolucyjnego modelu rozwoju przemysłu koncentrując się na wybranych jego elementach, ważnych z punktu widzenia tematu artykułu. Model ten przedstawiany był m.in. na Szkole Symulacji Systemów Gospodarczych w 2001 roku (parz także [Kwaśnicki 2000]), opisuje zachowanie się pewnej liczby firm produkujących funkcjonalnie podobne produkty (tzn. produkty zaspokajające określoną potrzebę). Decyzje każdej firmy odnoszące się do wielkości inwestycji, ceny produktów, wielkości pożądanego zysku, itp. dokonywane są na podstawie oceny przyszłego zachowania się konkurentów i oczekiwanej reakcji rynku (konsumentów) na wprowadzenie na rynek określonej liczby produktów danej firmy. Wiedza firm dotycząca zachowania się konsumentów oraz wiedza o przyszłych zachowaniach konkurentów jest ograniczona i cechuje się dużym poziomem niepewności. Decyzje podejmowane są przez każdą firmę niezależnie w tym samym momencie (np. na początku każdego roku, lub kwartału).

Po podjęciu decyzji firmy produkują taką liczbę produktów jaką spodziewają się sprzedać na rynku. Rzeczywista liczba produktów danej firmy kupionych przez klientów zależy od ceny ich produktów, względnej oceny ich jakości (tzn. stopnia zaspokojenia danej potrzeby przez konkretny produkt) oraz nasycenia rynku. Na

rynku mogą wystąpić stany niezaspokojenia lub nadprodukcji zarówno w skali globalnej całego rynku jak i w skali 'lokalnej' na poziomie specyficznych produktów. Może się tak zdarzyć, że produkty oceniane jako najlepsze nie są sprzedawane w całości na rynku i zamiast nich kupowane są produkty gorsze. Jednakże w długim okresie czasu produkty oceniane jako lepsze (tzn. produkty o niższej cenie i lepszej jakości) kupowane są chętniej przez klientów i ich udział na rynku rośnie.

Symulacja rozwoju przemysłu w modelu odbywa się w dyskretnym czasie w czterech etapach:

1. Poszukiwanie wynalazków, których wprowadzenie do produkcji (innowacje) może zastąpić 'stare', aktualnie stosowane produkty (metody produkcji).
2. Oszacowanie i porównanie wielkości inwestycji, produkcji, dochodu netto, zysku oraz innych charakterystyk rozwoju firmy wymaganych do kontynuowania produkcji 'starymi' metodami oraz przy zastosowaniu nowo odkrytych. W efekcie podjęcie decyzji o: (1) kontynuowaniu produkcji starymi metodami lub dokonanie modernizacji produkcji oraz (2) ewentualnym otwarciu nowego zakładu, gdzie istotnie nowe sposoby produkcji będą zastosowane.
3. Wejście nowych firm na rynek.
4. Rynkowa ocena całej puli produktów oferowanych przez wszystkie firmy do sprzedaży. Obliczenie charakterystyk rozwoju firm (produkcji sprzedanej, udziału firm na rynku) oraz globalnych charakterystyk rozwoju całego przemysłu.

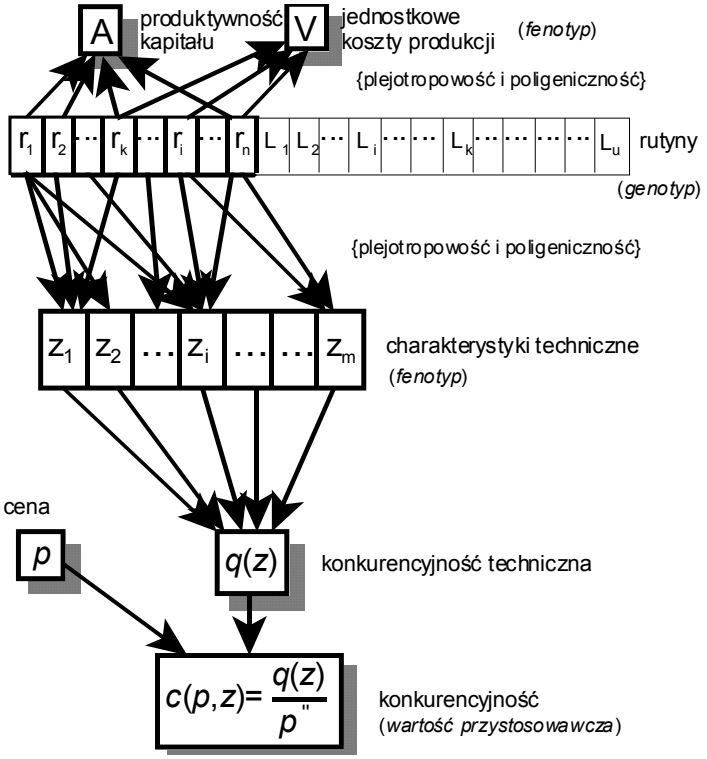
Wyznaczana przez producenta cena produktów zależy od dostępnych innowacji wprowadzanych przez daną firmę, aktualnej struktury rynku i od wielkości produkcji jaką spodziewa się dana firma sprzedać na rynku. W modelu rozróżniamy innowacje i wynalazki (tzn. nowości, które potencjalnie mogą być wprowadzone do praktyki i stać się innowacjami). Istnieją dwa podstawowe sposoby poszukiwania nowych rozwiązań (wynalazków), mianowicie autonomiczne badania prowadzone przez daną firmę oraz naśladownictwo konkurentów. Modernizacja produkcji poprzez wprowadzenie innowacji lub też zainicjowanie nowej produkcji poprzez wykorzystanie jakiegoś radykalnie nowego wynalazku wymaga określonego kapitału inwestycyjnego. Dlatego firmy myśląc o wprowadzeniu innowacji uwzględniają w swoich decyzjach także uwarunkowania ekonomiczne związane np. ograniczonymi zasobami inwestycyjnymi. Często zdarza się, że z powodów czysto ekonomicznych bardzo obiecujący wynalazek nie jest wprowadzany w życie. Połączenie rozwoju technologicznego z rozwojem gospodarczym i uwzględnienie ograniczeń ekonomicznych w rozpatrywaniu rozwoju technologicznego jest jedną z istotnych cech tego modelu.

Z dużej liczby wynalazków powstałych w trakcie procesu badawczego prowadzonego w firmach jedynie niewielka ich część staje się innowacjami. Innowacje pozwalają na modernizację bieżącej produkcji, pozwalają też na zainicjowanie radykalnie innego procesu produkcji. Każda innowacja może przyczynić się do: zmniejszenia jednostkowych kosztów produkcji, wzrostu produktywności kapitału lub poprawy charakterystyk technicznych produkowanych wyrobów. Jednakże często zdarza się, że polepszeniu ulega tylko jeden lub dwa z

wymienionych trzech czynników, podczas gdy pozostałe są gorsze od aktualnie stosowanego procesu produkcyjnego. Dlatego firmy zazwyczaj stają przed problemem zrównoważenia pozytywnych i negatywnych czynników towarzyszących danemu wynalazkowi i akceptują jedynie te, dla których pozytywne przeważają i pozwalają na lepsze spełnienie kryterium funkcjonowania firmy. Każda z firm dąży do tego by polepszyć swoją sytuację w porównaniu z jej konkurentami, podstawowym sposobem na to jest wprowadzanie innowacji i odpowiednie ustalanie ceny swoich produktów. Aktywność badawcza firm „obejmuje modyfikowanie i rekombinacje bieżących rozwiązań technologicznych i pomysłów organizacyjnych w połączeniu z dostępnymi zdolnościami pracowników w określonym kontekście gospodarczym" (Winter, 1984). Natomiast decyzje rynkowe zależą od charakterystyk technicznych produktów oferowanych na sprzedaż i ich ceny. Możemy mówić o istnieniu dwóch przestrzeni: przestrzeni rutyn i przestrzeni charakterystyk produktów.

W przedstawionym modelu firmy mogą jednocześnie wytwarzać produkty o różnych charakterystykach technicznych oraz różnych cenach, mówimy, że firma może być przedsiębiorstwem wielozakładowym. Różne zakłady wytwarzają produkty stosując inne zbiory rutyn (metod produkcji) powstałych w trakcie działalności badawczej. Nowe technologiczne lub organizacyjne rozwiązania (tzn. nowe zbiory rutyn) mogą okazać się znacznie lepsze od aktualnie stosowanych, jednakże koszty pełnej modernizacji bieżącej produkcji mogą znacznie przekraczać zdolności inwestycyjne firmy. W takiej sytuacji firma kontynuuje produkcję przy stosowaniu starego zbioru rutyn (starych metod produkcji) i jednocześnie rozpoczyna produkcję w nowym zakładzie w oparciu o nowy zestaw rutyn, ale na znacznie mniejszą skalę. W trakcie dalszego rozwoju firmy 'stara' produkcja jest ograniczana a 'nowa' rozwijana, tak, że po jakimś czasie produkowane są jedynie nowocześniejsze produkty.

Zakładamy, że każda firma charakteryzowana jest przez zbiór (zbiory) rutyn. Wyróżniamy dwa rodzaje rutyn: *aktywne*, tzn. rutyny rzeczywiście stosowane przez firmę w jej codziennej praktyce, oraz *nadmiarowe* (albo inaczej *ukryte*), które są dostępne dla firmy by je użyć w praktyce, ale z różnych powodów nie są stosowane (na Rys. 3 oznaczone odpowiednio przez $r_i$ oraz $L_i$). Rutyny nadmiarowe mogą być włączone do zbioru rutyn aktywnych w dowolnym momencie. Cały zbiór rutyn podzielony jest również na rozłączne podzbiory, zwane segmentami, składające się z rutyn stosowanych przez firmę w różnych sferach jej działalności. Przykładami mogą być segmenty rutyn odnoszące się do działalności produkcyjnej, zarządzania i organizacji firmy, marketingu, reklamy, itp. W każdym segmencie mogą istnieć zarówno rutyny aktywne jak i nadmiarowe. Zbiór rutyn może ewoluować. Istnieją cztery podstawowe ewolucyjne mechanizmy generowania nowych zbiorów rutyn, mianowicie: *mutacje*, *rekombinacje*, *tranzycje* i *transpozycje*.




Rys 3. Od rutyn do konkurencyjności, kosztów produkcji i produktywności kapitału

Prawdopodobieństwo odkrycia całkowicie nowej rutyny (mutacja) zależy od wielkości funduszy przeznaczonych przez firmę na autonomiczne badania prowadzone przez tę firmę przez zatrudniony w niej personel badawczy. Firma może przeznaczyć też część swojego funduszu badawczego na zdobycie wiedzy od konkurentów i próbować naśladować (rekombinacje) rozwiązania stosowane przez konkurujące firmy. Zakładamy, że rekombinacje mogą zachodzić segmentami, pojedyncze rutyny nie rekombinują. Dlatego, dzięki rekombinacji firma, może uzyskać odpowiednią wiedzę dotyczącą całej sfery działalności innej firmy, np. poprzez zakup licencji. Pojedyncza rutyna może być przekazywana z pewnym prawdopodobieństwem przez tzw. tranzycję W czasie tranzycji rutyna dołączana jest do zbioru rutyn ukrytych ale w każdym momencie z pewnym prawdopodobieństwem rutyna ukryta może być przeniesiona do zbioru rutyn aktywnych

Problem zrozumienia i odpowiedniego zamodelowania procesu podejmowania decyzji wydaje się być jednym z kluczowych w ekonomii. Zakładamy, że firmy podejmują swoje decyzje na podstawie spodziewanych decyzji podejmowanych przez konkurentów i swoich oczekiwań o przyszłym rozwoju całego przemysłu (w formie

np. oczekiwanej średniej ceny i średniej konkurencyjności produktów). Znając swoje możliwości inwestycyjne, aktualną sytuację rynku oraz możliwe do wprowadzenia innowacje, każda firma określa wielkość produkcji jaką spodziewa się sprzedać w bieżącym roku na rynku oraz bieżącą cenę produktów, tak by maksymalizować kryterium działalności firmy ($O_1$) będące kombinacją dbałości o dostatecznie duży zysk (perspektywa krótkookresowa) oraz dbałości o jak najdłuższa obecność firmy na rynku (dostatecznie duży udział firmy w produkcji sprzedanej na rynku, perspektywa długookresowa), co można zapisać następująco:

$$O_1(t+1) = (1-F_i)\frac{\Gamma_i(t+1)}{\Gamma(t)} + F_i\frac{Q_i^s(t+1)}{QS(t)} \quad ,$$

$$F_i = a_4 \exp(-a_5 \frac{Q_i^s(t+1)}{QS(t)})$$

gdzie $\Gamma_i(t)$ dochód firmy $i$ w roku $t, Q_i^s$ produkcja sprzedana firmy $i$, $\Gamma$ dochód globalny, $QS$ produkcja globalna, $F_i$ waga kryterium długookresowego i krótkookresowego, $a_4$ i $a_5$ są parametrami kontrolującymi zmiany tej wagi. W eksperymentach tych $a_4 = 1$ i $a_5 = 5$ co oznacza, że kryterium długookresowe jest z reguły ważniejsze niż kryterium krótkookresowe oraz, że firmy stosują strategię elastyczną, zmniejszając wagę kryterium długookresowego w miarę wzrostu firmy – dla małych firm waga kryterium długookresowego jest znacznie większa niż dla firm dużych.

Dochód $\Gamma_t$ i zysk $\Pi_t$ firmy $i$ wyrażają się wzorami

$$\Gamma_i = Q_i^s(t)(p_i(t) - V_i v(Q_i^s(t)) - \eta)$$
$$\Pi_i = \Gamma_i - K_i(t)(\rho - \delta)$$

gdzie $p_i$ cena produktów firmy $i$, $V_i$ koszty jednostkowe, $v(Q_i^s)$współczynnik wpływu ekonomii skali na koszty jednostkowe, $\rho$ normalna stopa zwrotu kapitału, $\delta$ amortyzacja.

Produktywność kapitału, zmienne koszty produkcji i charakterystyki produktów są funkcjami rutyn stosowanych przez każdą firmę (patrz Rys. 3). Każda rutyna może wpływać w różnorodny sposób na wiele charakterystyk produktów oraz na produktywność kapitału i jednostkowe koszty produkcji. W biologii jest podobnie, pojedynczy gen może wpływać na wiele cech fenotypowych organizmu; efekt taki nazywany jest plejotropowością. Podobnie każda z charakterystyk produktu oraz produktywność i koszty produkcji mogą zależeć od wielu różnych rutyn (co w biologii nazywane jest poligenicznością).

Zatem zakładamy, że istnieje pewna transformacja zbioru rutyn na zbiór charakterystyk produktów opisywanych przez $m$ funkcji $F_k$:

$$z_k = F_k(r), \qquad d = 1,2,3,...,m,$$

gdzie $z_k$ jest wartością $k$-tej charakterystyki, $m$ liczbą charakterystyk produktów, a

*r* zbiorem rutyn aktywnych charakteryzujących daną firmę.

Atrakcyjność produktów na rynku zależy od wartości charakterystyk produktów (konkurencyjności technicznej produktów) i ich ceny. W sytuacji kiedy firmy wprowadzają innowacje, konkurencyjność techniczna zmienia się zależnie od dokonywanych modyfikacji rutyn stosowanych przed daną firmę lub w wyniku zastosowania zasadniczo odmiennej rutyny, dotychczas nie stosowanej przez żadną firmę. Z punktu widzenia konsumenta to jaka zastosowana została rutyna w trakcie wytwarzania danego produktu nie jest sprawa istotną. To co bezpośrednio interesuje konsumenta to wartości charakterystyk produktu. Zatem konkurencyjność techniczna nie jest bezpośrednią funkcją rutyn lecz zależy od wartości charakterystyk produktów. Zakładamy istnienie pewnej funkcji *q* umożliwiającej wyliczenie konkurencyjności technicznej w zależności od wartości charakterystyk technicznych danego produktu. Mówimy, że funkcja *q* opisuje krajobraz adaptacyjny w przestrzeni charakterystyk technicznych produktów. Funkcja ta (a zatem i kształt krajobrazu adaptacyjnego) zależeć może od wielu czynników zewnętrznych (np. w sferze polityki) i od zmian zachodzących w innych gałęziach przemysłu. Kształt krajobrazu adaptacyjnego zmienia się zatem w czasie, posiada wiele lokalnych optimów, niektóre ze szczytów przystosowawczych tracą na znaczeniu w miarę upływu czasu inne natomiast stają się wyższe.

Ostateczna konkurencyjność produktów *c* (tzn. pewien hipotetyczny wskaźnik, którym kierują się konsumenci przy zakupie produktów) zależy od konkurencyjności technicznej i ceny produktów

$$c(p,z) = \frac{q(z)}{p^{\alpha}} \quad , \qquad z = (z_1, z_2, ...., z_m),$$

gdzie *z* to wektor charakterystyk technicznych produktu, *p* cena produktu, *q*(*z*) konkurencyjność techniczna, $\alpha$ elastyczność ceny. Konkurencyjność *c* jest zatem analogiem wartości przystosowawczej (*fitness*) osobników biologicznych.

Przyjmujemy, że funkcja popytu zależy od wartości średniej ceny produktów oferowanych do sprzedaży na rynku. Wielkość produkcji $Q^d(t)$, którą klienci są gotowi kupić jest równa

$$Q^d(t) = \frac{M(t)}{p^e(t)} ,$$

gdzie $p^e(t)$ jest średnia ceną produktów oferowanych do sprzedaży a $M(t)$ jest wartością pieniędzy którą konsumenci gotowi są wydać na zakup danych produktów. Zakładamy, że wartość pieniędzy wydanych na zakup produktów jest równa

$$M(t) = N \exp(\gamma t)(p^e(t))^{\beta} ,$$

gdzie *N* jest wielkością charakteryzującą początkowy rozmiar rynku, $\gamma$ jest współczynnikiem wzrostu rozmiaru rynku w czasie, a $\beta$ elastycznością ceny (stad elastyczność ceny w funkcji popytu jest równa $\beta-1$). Elastyczność $\beta$ charakteryzuje rodzaj produktów (rodzaj rynku), możemy się spodziewać, że dla produktów

podstawowych (koniecznych do życia, jak np. żywność, ubrania, mieszkania) β jest większa niż zero i mniejsza niż jeden (rynki dóbr nieelastycznych), natomiast dla produktów luksusowych (wyższego rzędu) β jest ujemne (rynki dóbr elastycznych).

Faktyczna wielkość produkcji sprzedanej na rynku $QS(t)$ jest równa mniejszej z dwóch wartości: (1) produkcji $Q^d(t)$ wynikającej z funkcji popytu, oraz (2) globalnej produkcji $Q^s(t)$ oferowanej przez wszystkie firmy do sprzedaży na rynku:

$$QS(t) = \min\{Q^d(t), Q^s(t)\}.$$

Generalnie rzecz biorąc, na rynku kupowane są produkty lepsze, tzn. te o większej konkurencyjności $c_i$. W miarę upływu czasu udział produktów lepszych kupowanych przez konsumentów rośnie. Udział $f_i(t)$ produktów firmy $i$ w chwili następnej jest wyznaczany w oparciu o ogólne równanie selekcji postaci

$$f_i(t) = f_i(t-1)\frac{c_i(t)}{c^e(t)}$$

gdzie $c_i$ konkurencyjność produktów firmy $i$, oraz $c^e$ jest średnią ceną produktów oferowanych na sprzedaż,

$$c^e(t) = \sum_i f_i(t-1)c_i(t).$$

Wynika z tego, że rośnie udział produktów, których konkurencyjność jest większa niż konkurencyjność średnia, podczas gdy produkty o konkurencyjności mniejszej niż średnia są eliminowane z rynku.

Faktyczna wielkość produkcji firmy $i$ sprzedanej na rynku jest równa

$$Q_i^d(t) = QS(t)f_i(t).$$

Powyższe rozważania opisują niejako idealną sytuację konkurencji produktów oferowanych na sprzedaż na danym rynku, kiedy zarówno globalna podaż równa się globalnemu popytowi, oraz popyt na specyficzne produkty każdej firmy $i$ jest równy wielkości produkcji oferowanej na sprzedaż przez tę firmę. Oczywiście sytuacja taka występuje niezmiernie rzadko, dlatego te ogólne równania selekcji powinny być dopasowane do sytuacji rzeczywistej, kiedy występować mogą niezrównoważenia zarówno popytu i podaży w skali całego przemysłu (globalnie) jak i popytu i podaży na produkty pojedynczych firm. Dostosowanie tych ogólnych równań do sytuacji niezrównoważonego popytu i podaży przedstawione jest, m.in., w [Kwaśnicki, 1994/96].

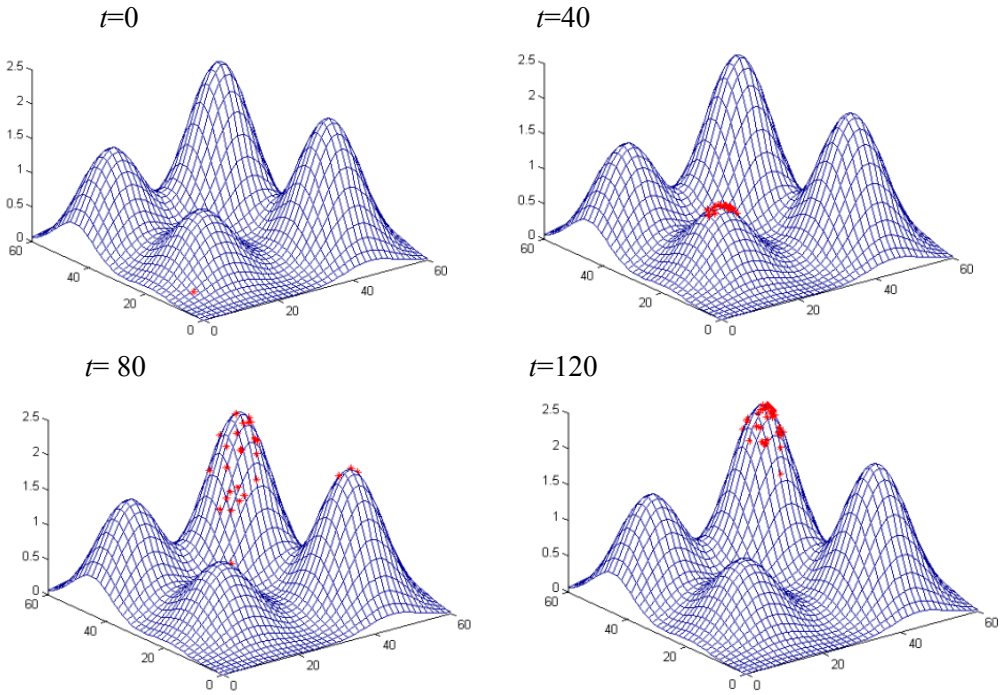
## 4. SKANALIZOWANE ŚCIEŻKI ROZWOJU – WYNIKI SYMULACJI MODELU

Celem serii eksperymentów, których wyniki przedstawione zostaną w dalszej części artykułu jest pokazanie, że skanalizowanie rozwoju jest naturalną własnością procesów ewolucyjnych oraz wskazanie warunków występowania różnego rodzaju

stabilności (o czym pisał Waddington). Nasza uwaga skoncentrowana będzie na analizie rozwoju przemysłu (populacji firm) w krajobrazie adaptacyjnym, tj. w przestrzeni parametrów technicznych produktów. Podobny skanalizowany charakter rozwoju obserwujemy także, jeśli rozwój przemysłu analizujemy uwzględniając inne charakterystyki jak np. koszty produkcji, produktywność kapitału. Ograniczenie na liczbę analizowanych charakterystyk procesu wynika tylko z ograniczonych możliwości graficznej prezentacji wyników symulacji. Dlatego też w prezentowaniu wyników ograniczamy się do dwóch charakterystyk technicznych ($z_1$, $z_2$). Ograniczenia te nie wpływają na ogólność wniosków z przeprowadzonych badań symulacyjnych. Co ciekawsze, jak pokazują wyniki wielu eksperymentów, zwiększenie liczby charakterystyk technicznych w dużym stopniu przyczynia się do wyraźniejszej kanalizacji rozwoju i częstszego występowania zjawiska blokad rozwoju (*lock-in*).

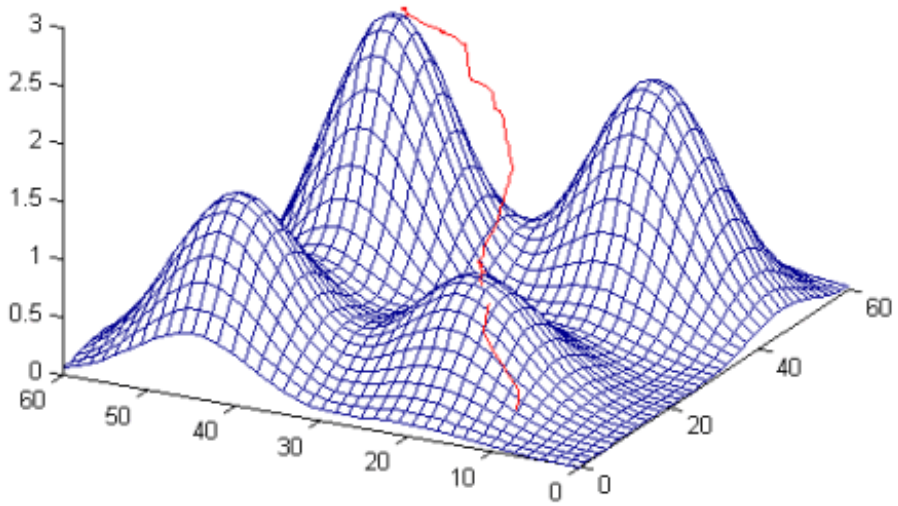
Ewolucja jest zjawiskiem obserwowanych obrębie w populacji elementów, w naszym wypadku populacji firm. Rozwój tej populacji można analizować także jako jej ruch w krajobrazie adaptacyjnym. W naszym modelu krajobraz ten opisywany jest funkcją konkurencyjności technicznej $q(z)$. Funkcja konkurencyjności technicznej jest obrazem preferencji konsumentów, wydaje się być uzasadnionym założenie pewnej regularności tych preferencji, której wyrazem może być m.in. ciągłość krajobrazu adaptacyjnego i występowanie wielu szczytów adaptacyjnych o zróżnicowanej wysokości. Przykład takiego regularnego krajobrazu o czterech szczytach przystosowawczych jest pokazany na Rysunkach 4 i 5. Na Rys. 4 pokazano położenia populacji firm w czterech momentach jakie zaobserwowano w jednym z eksperymentów symulacyjnych. W chwili początkowej ($t$=0) istniała jedna firma o charakterystykach technicznych ($z_1$, $z_2$) =(10, 5). To położenie początkowe wybrane zostało intencjonalnie w pewnej odległości od szczytu najniższego. Liczba firm wzrasta w ciągu pierwszych paru lat do kilkunastu a potem kilkudziesięciu. Dzięki stale pojawiającym się innowacjom firmy szybko ewoluują w krajobrazie adaptacyjnym osiągając po ok. 40 latach położenie na najniższym szczycie. Tam pozostają przez jakiś czas nie zmieniając praktycznie swojego położenia by po kilku latach intensywnych poszukiwań znaleźć produkty o charakterystykach technicznych położonych na wyższych szczytach. W przedstawianym przebiegu symulacyjnym, w stosunkowo krótkim czasie, znalezione zostały rozwiązania na wszystkich trzech szczytach (jest to rzadki przypadek, z reguły najpierw znajdowane jest rozwiązanie na jednym z pośrednich szczytów, by potem znaleźć rozwiązanie na szczycie najwyższym). W roku 80 populacja nadal podzielona była na dwie podpopulacje (segmenty rynku) wytwarzające produkty o charakterystykach na dwóch szczytach (najwyższym i pośrednim). W ciągu następnych dziesięcioleci produkty o pośredniej konkurencyjności technicznej zostały wyeliminowane i cała populacja firm 'przeniosła' się na szczyt najwyższy (patrz stan dla $t$= 120). Licząc w każdym roku średnie wartości charakterystyk technicznych oraz średnie wartości konkurencyjności

technicznej w obrębie bieżącej populacji i zaznaczając tak zdefiniowane punkty w krajobrazie adaptacyjnym otrzymujemy tzw. trajektorię rozwoju (obrazującą 'średni' ruch populacji firm w krajobrazie). Trajektoria rozwoju w naszym pierwszym eksperymencie przestawiona jest na Rys. 5.



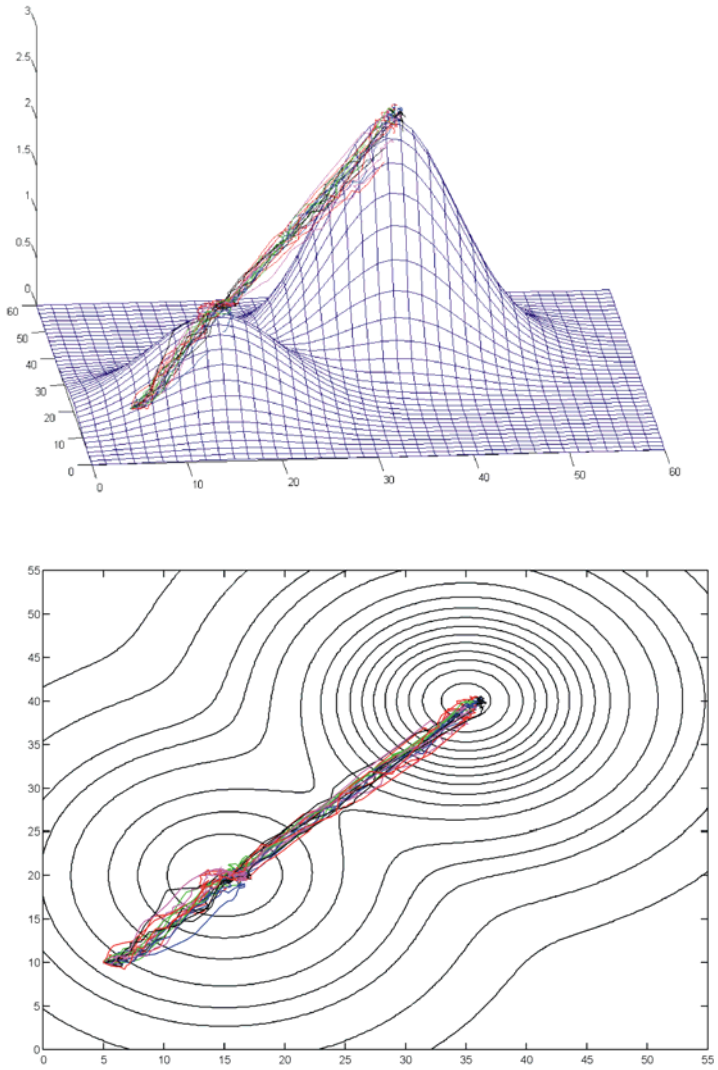

Rys. 4. Stan firm na tle krajobrazu adaptacyjnego w czterech latach (*t*= 0, 40, 80, 120)

Lekkie wykrzywienie trajektorii w prawo (w kierunku szczytu pośredniego) jest wynikiem specyficzne ewolucji w przedstawianym eksperymencie tj. jednoczesnego istnienia rozwiązań na kilku szczytach przystosowawczych. Warto zwrócić uwagę, ze trajektoria nie 'pełza' po powierzchni krajobrazu adaptacyjnego, a w dużym fragmencie 'przechodzi' nad dolinami krajobrazu, jest to wynik liczenia średnich wartości charakterystyk produktów położonych na różnych szczytach adaptacyjnych (nie oznacza to, ze takie średnie produkty rzeczywiście istnieją wśród produktów oferowanych do sprzedaży na rynku – jest to dobra ilustracja znanego powiedzenia, że są trzy rodzaje kłamstwa: kłamstwo, wierutne kłamstwo i statystyki).




Rys. 5. Trajektoria rozwoju w krajobrazie adaptacyjnym

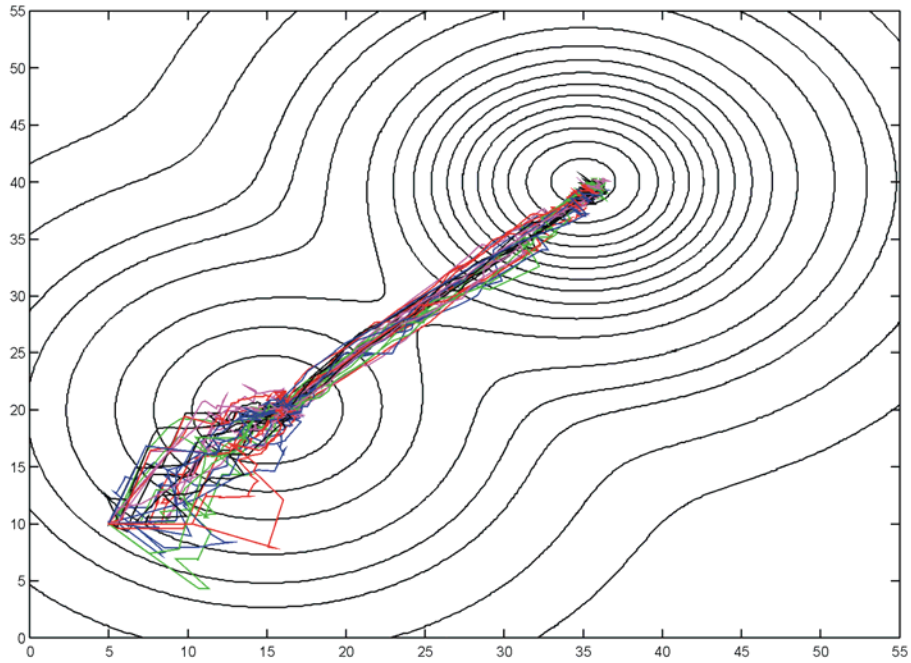
Obserwując ruch populacji firm w krajobrazie widzimy, że w wykreowanych warunkach istnieje naturalna tendencja do poruszają się w pierwszej fazie rozwoju przemysłu w kierunku najniższego szczytu, po czym następuje przejście do któregoś ze szczytów wyższych. Mechanizmy rozwoju nie pozwalają na zejście populacji firm do 'dolinki adaptacyjnej' a potem 'wdrapywanie' się na wyższy szczyt – taki charakter rozwoju wiązałby się z koniecznością przejściowego zaakceptowania przez konsumentów rozwiązań gorszych technologicznie, po to by ewentualnie w dalszej przyszłości móc kupić produkty zaawansowane technologicznie. Do eksperymentów w krajobrazie z czterema sczytamy wrócimy w dalszej części artykuły, tymczasem przyjrzyjmy się ewolucji firm w prostszym krajobrazie składającym się z dwóch szczytów (patrz Rys. 6).




Rys.6. Trajektorie w krajobrazie adaptacyjnym (12 firm w $t_0$, 21 przebiegów symulacyjnych)

W kolejnej serii eksperymentów założono, że w chwili początkowej istniało dwanaście jednakowych firm wytwarzających produkty o charakterystykach (10, 5). Na Rys. 6 pokazano trajektorie rozwoju, jaki otrzymano w 21 eksperymentach symulacyjnych o takich samych warunkach początkowych. Każdy przebieg symulacyjny jest inny, a to za przyczyną losowo pojawiających się innowacji. Na

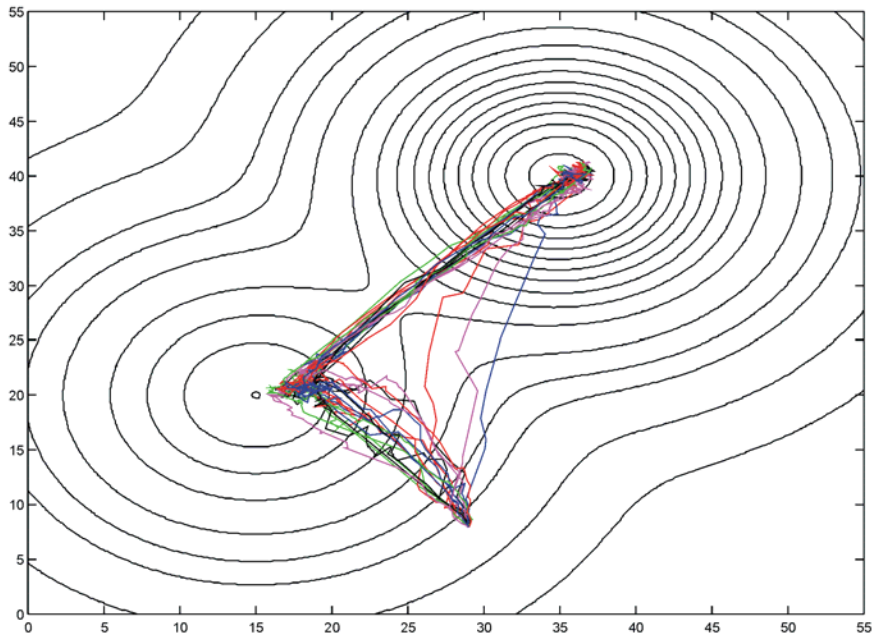
poziomie charakterystyk technicznych różnice te są stosunkowo niewielkie (choć na poziomie np. rutyn różnice są istotne, ale ze względu na cel tego artykułu i ograniczoność miejsca nie będziemy tego dyskutowali). Na Rys. 6 pokazano trajektorie na tle krajobrazu adaptacyjnego (rysunek wyższy) i wpisane w mapę tegoż krajobrazu, rysunek niższy. W początkowej fazie występuje stosunkowo szybka ewolucja w kierunku szczytu niższego, potem następuje zahamowanie rozwoju i 'pobyt' w okolicach szczytu niższego, znalezienie innowacji radykalnej (produktu o charakterystykach w okolicach szczytu wyższego) i 'przeskok' całej populacji ze szczytu niższego do wyższego. 'Przeskok' dokonuję się poprzez ograniczanie wytwarzania produktów przestarzałych technologicznie (położonych na szczycie niższym) i wzrost produkcji produktów zaawansowanych technologicznie (położonych na szczycie wyższym). Porównując te 21 trajektorii możemy stwierdzić stosunkowo niewielkie różnice w rozwoju, zatem ten typ rozwoju przypomina pierwszy typ stabilności proponowany przez Waddingtona (Rys. 2a).




Rys. 7. Trajektorie rozwoju w serii eksperymentów z jedną firmą w chwili początkowej.

Na Rys. 7 pokazano trajektorie z podobnej serii eksperymentów jak poprzednio. Jedyną różnicą jest to, że zamiast 12 firm w chwili początkowej rozwój przemysłu

zaczyna się od jednej firmy. Widzimy wyraźnie duże zróżnicowanie rozwoju w pierwszej fazie, kiedy populacja firm zmierza do szczytu niższego. Nie występuje tak duży predeterminizm rozwoju jak w poprzedniej serii eksperymentów. Duża rolę w kształtowaniu przyszłego rozwoju przemysłu odgrywają losowo wprowadzane przez nowo wchodzące firmy na rynek zróżnicowane innowacje. Ten typ rozwoju przypomina w swym charakterze drugi z proponowanych przez Waddingotona typów stabilności (Rys. 2b).

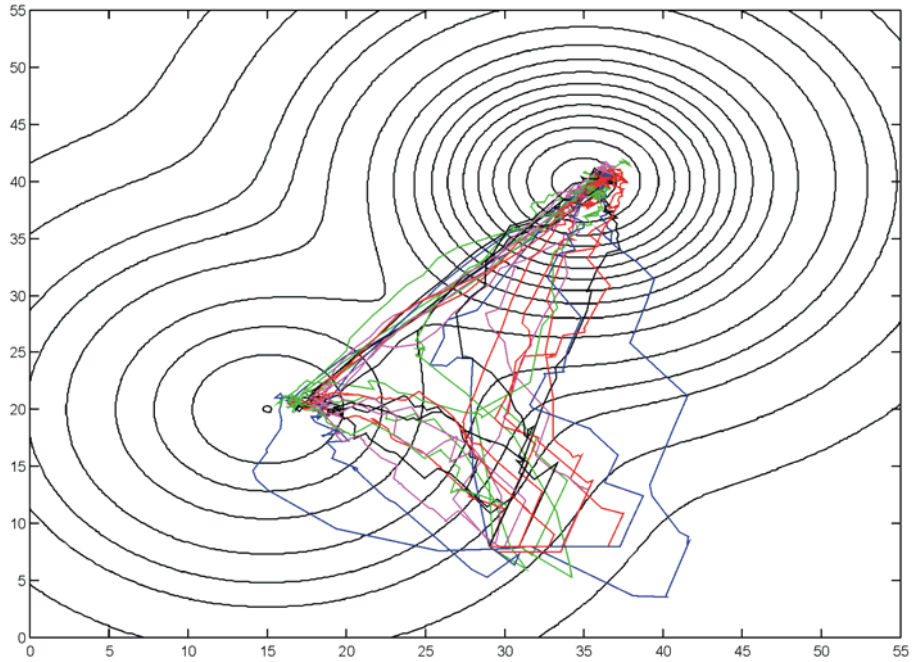



Rys. 8. Trajektorie rozwoju – 12 firm w stanie początkowym, położenie początkowe (29,8)

Widzimy zatem, że jednym z czynników określających typ stabilności rozwoju jest struktura początkowej populacji firm, duża liczba firm powoduje, że czynniki losowe nie odgrywają tak istotnej roli.

Dotychczasowym eksperymentom można zarzucić to, ze dobrano w sposób specyficzny początkowe położenie populacji. Zbadajmy zatem jak na charakter rozwoju wpływa to położenie. Okazuje się że cały krajobraz adaptacyjny można podzielić na swego rodzaju ‘baseny’. Umieszczenie początkowej populacji firm w jednym z takich basenów (nazwijmy go ‘pierwszym’) powoduje podobny typ rozwoju jak w dotychczasowych eksperymentach – najpierw obserwujemy ewolucję w

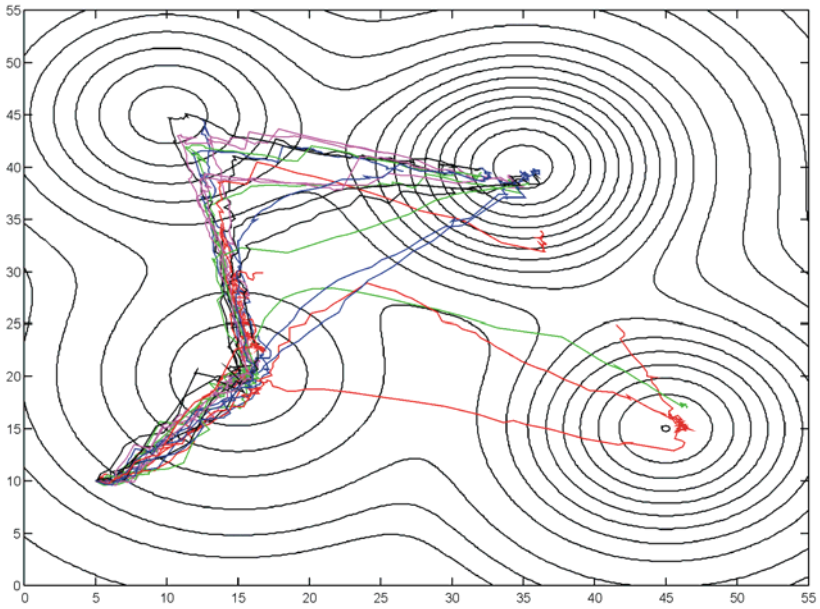
kierunku niższego szczytu i potem dopiero ewolucje w kierunku szczytu wyższego. Natomiast umieszczenie populacji w drugim basenie sprzyja bezpośredniej ewolucji w kierunku szczytu najwyższego. Umieszczenie populacji początkowej na granicy obu basenów powoduje, że losowe zdarzenia (losowe innowacje) mogą przyczyniać się ewolucji 'pośredniej' poprzez niższy szczyt lub też ewolucji bezpośredniej do szczytu najwyższego. Takim położeniem granicznym jest obszar w okolicy punktu (29, 8) – patrz Rys. 8. Niewielkie odchylenia na lewo od tego punktu sprzyjają ewolucji 'pośredniej', natomiast niewielki odchylenia na prawo ewolucji 'bezpośredniej' do sczytu najwyższego. Na 20 eksperymentów symulacyjnych, w których 12 firm wytwarzało w chwili początkowej produkty o charakterystykach (29, 8), tylko w trzech przypadkach zaobserwowano ewolucje 'bezpośrednią', w pozostałych 17 populacja firm obrała drogę pośrednią, poprzez szczyt niższy.




Rys. 9. Trajektorie rozwoju – jedna firma w stanie początkowym, położenie początkowe (29,8)

Obraz rozwoju nie jest tak jednoznaczny jeśli rozwój całego przemysłu jest zainicjowany przez jedną firmę. Startując z tego samego położenia (29, 8) trajektorie rozwoju wykazują dużą losowość (Rys. 9). Występuje nie tylko dychotomiczny

podział na ‘rozwój pośredni’ i ‘bezpośredni’, ale w niektórych trajektoriach daje się wyróżnić wyraźny okres regresywnego rozwoju w pierwszej fazie rozwoju przemysłu – przykładem jest najbardziej na prawo położona trajektoria na Rys. 9. W pierwszej fazie rozwoju populacja firm zmienia swe położenie z początkowego (29, 8) na (40, 3), czemu towarzyszy wyraźny spadek konkurencyjności techniczne. Po tej fazie regresu następuję bardzo szybki rozwój w kierunku szczytu najwyższego. Można powiedzieć, że ten bardzo szybki rozwój możliwy był dzięki stosunkowo krótkiemu rozwojowi regresywnemu.




Rys. 10. Trajektorie rozwoju w krajobrazie adaptacyjnym o czterech szczytach (12 firm w stanie początkowym).

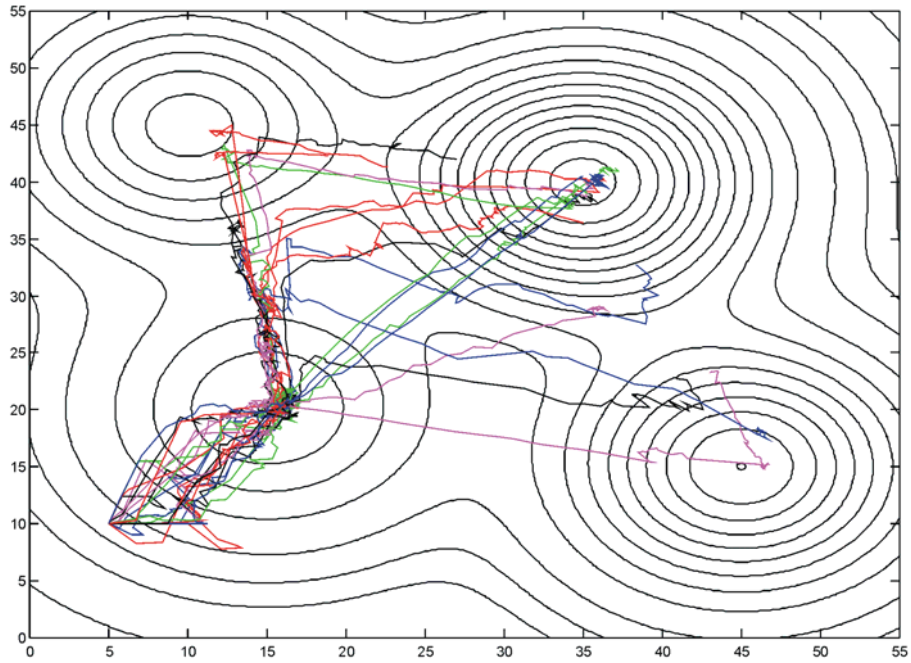
W bardziej skomplikowanym krajobrazie adaptacyjnym różnorodność rozwoju przemysłu będzie znacznie większa, ale i wtedy można mówić kanalizacji rozwoju i o wspomnianych dwóch typach stabilności Waddingtona. Na Rys. 10 pokazano 20 trajektorii otrzymanych w serii eksperymentów z krajobrazem o czterech szczytach przystosowawczych. Podobnie jak w poprzednich eksperymentach widać wyraźną kanalizację rozwoju w kierunku najniższego szczytu (i tutaj jest to pierwszy typ stabilności Waddingotna – Rys. 2a) jak również kanalizację rozwoju w dalszych fazach ewolucji do szczytu najwyższego. Warto jednak podkreślić, że skanalizowanie

rozwoju zainicjowanego ze szczytu najniższego może przybierać wielorakie formy. W zależności od losowego pojawiania się innowacji radykalnych, populacja firm może powędrować bezpośrednio na szczyt najwyższy lub pośrednio przez jeden z pozostałych dwóch szczytów. Rzadko, mogą występować trajektorie jakby 'zawieszone' pomiędzy szczytami. Te 'dziwne' trajektorie wynikają z nietypowej sekwencji pojawiania się innowacji, związanych ze specyfiką innowacji w tym modelu (obserwowaną także w procesach rzeczywistych). Te 'dziwne' trajektorie wysterują wtedy kiedy spontanicznie pojawia się segmentacja produktów na rynku, tj. wtedy kiedy duża cześć produktów sprzedawanych na rynku to produkty najlepsze technicznie o charakterystykach wokół szczytu najwyższego, a pozostała część produkcji to produkty o charakterystykach wokół szczytu niższego (np. drugiego co do wysokości). Mimo stale obecnego procesu selekcji i konkurencji przez długi okres czasu nie występuje eliminacja produktów zapóźnionych technologicznie. Ta specyficzna sytuacja współistnienia produktów zaawansowanych technologicznie i produktów gorszych nie jest czymś wyjątkowym w procesach gospodarczych. Wspominamy o tym, bo eksperymenty te wskazuje na pewne własności rozwoju gospodarczego widzianego z perspektywy ewolucyjnej. Konkurencyjność produktów zależy od konkurencyjności technicznej i ceny. Tak się niekiedy zdarza w eksperymentach symulacyjnych (ale też i w procesach rzeczywistych), że wysokiej konkurencyjności technicznej produktów wokół najwyższego szczytu towarzyszą wyższe koszty produkcji i odwrotnie gorszym z technicznego punktu widzenia produktom o charakterystykach wokół trzeciego szczytu towarzyszą niższe koszty produkcji. Firmy produkujące zaawansowane technicznie produkty zmuszone są sprzedać produkty po wyższej cenie natomiast firmy produkujące produkty technicznie gorsze, dzięki niższym kosztom produkcji mogą obniżyć cenę produktów. W efekcie konkurencyjność obu rodzajów produktów jest zbliżona, a nawet w długich okresach czasu konkurencyjność produktów technicznie gorszych jest większa niż tych technologicznie zaawansowanych. W wyniku działania efektu plejotropowego obniżenie kosztów wytwarzania produktów o charakterystykach wokół najwyższego szczytu okazuje się bardzo trudne. Często znajdowane są produkty o niższych kosztach produkcji, ale towarzyszy temu także obniżenie wskaźnika konkurencyjności technicznej, co okazuje się dla firm nie do zaakceptowania. Tak rozumiana segmentacja rynku powoduje, że niektóre trajektorie są jakby zawieszone pomiędzy dwoma szczytami.

Jeśli przeprowadzimy podobną serieę eksperymentów, ale zamiast 12 firm w stanie początkowym przyjmiemy, że gałąź przemysłu zainicjowana jest przez jedną firmę, to rozwój w początkowej fazie będzie zbliżony do drugiego typu stabilności Waddingotna (Rys.11). Charakter zmian w dalszych fazach już po osiągnięciu szczytu najniższego jest w obu seriach podobny.

Analizując wyniki symulacji w ostatnich dwóch seriach eksperymentów warto zwrócić uwagę na pewna tendencję w rozwoju przemysłu (swego rodzaju

zablokowanie rozwoju, *lock-in* wg Briana Arthura). Można oczekiwać, że poszukiwanie innowacji jest procesem całkowicie losowym dlatego też spodziewać się można, że rozkład prawdopodobieństwa dochodzenia do szczytu najwyższego różnymi drogami (czy to pośrednimi przez dwa pozostałe szczyty lokalne, czy bezpośrednio) powinien być zbliżony do równomiernego. Tymczasem na 40 przedstawianych eksperymentów 8 razy ewolucja osiągnęła szczyt najwyższy przechodząc przez drugi co do wysokości szczyt (prawy, dolny), 6 razy populacja osiągnęła szczyt najwyższy bezpośrednio natomiast aż w 26 przypadkach populacja osiągnęła szczyt najwyższy wędrując najpierw do drugiego co do wysokości szczytu (lewego, górnego). Ta skłonność do wędrówki w krajobrazie adaptacyjnym przez szczyty niskie zamiast wyższe nie wynika ze jakichkolwiek sztucznie stworzonych warunków naruszających naturalne założenie o losowości poszukiwań innowacji a wynika z przyjętej w modelu funkcji transformacji rutyn na charakterystyki techniczne produktów, jednostkowe koszty produkcji i produktywność kapitału (Rys. 3).




Rys. 11. Trajektorie rozwoju w krajobrazie adaptacyjnym o czterech szczytach (jedna firma w stanie początkowym).

Warto podkreślić, że tak w rzeczywistości, jak i w prezentowanym modelu firmy nie znają krajobrazu adaptacyjnego, mogą jedynie eksperymentować i poznać jego

lokalny kształt badając (np. w laboratorium) jakość niektórych rozwiązań (wynalazków). Osiągając szczyt najniższy firmy nie wiedzą w którym kierunku należy prowadzić poszukiwania. Modyfikują swoje rutyny losowo, ale w wyniku takiej a nie innej funkcji transformacji prawdopodobieństwo pojawiania się innowacji położonych na drugim najniższym szczycie jest stosunkowo wysokie. Tak też wydaje się być w rzeczywistych procesach ewolucyjnych (czy to gospodarczych czy biologicznych) – spontanicznie wyłaniające się, w trakcie długiego okresu ewolucji, funkcje transformacji z rutyn (genów, w przypadku ewolucji biologicznej) na charakterystyki produktów (fenotypy w biologii) mogą sprzyjać pojawianiu się rozwiązań gorszych niż te, które mogłyby się pojawić gdyby proces poszukiwań prowadzony byłby nie w przestrzeni rutyn (genów) a w przestrzeni charakterystyk technicznych (fenotypów) i byłby całkowicie losowym. Jest to jednak temat na osobne rozważania i ze względu na ograniczoną objętość tegoż artykułu pozostańmy na tym ogólnym stwierdzeniu.

## LITERATURA

ARTHUR, W. B. 1989. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events; [w:] *Economic Journal* 97; pp 642-65.

ARTHUR, W. B. 1990. Positive Feedbacks in the Economy; [w:] *Scientific American*, February 1990, Vol. 262, pp. 92-99.

ARTHUR, W. B. 1994. *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. University of Michigan Press, Ann Arbor.

ARTHUR, W. B. 1996. Increasing returns and the new world of business; [w:] H*arvard Business Review;* pp 100-109.

DAVID, P. A. 1992. Heros, herds and hysteresis in technological history: 'The battle of the systems' reconsidered; [w:] *Industrial and Corporate Change* 1; pp 129-80.

DAVID, P. A. 2001. Path dependence, its critics and the quest for 'historical economics'; [w:] P. Garrouste i S. Ioannides (red.) *Evolution and Path Dependence in Economic Ideas*. Edward Elgar, Cheltenham, Northampton.

FARRELL, J., SALONER, G. 1986. Installed base and compatibility: Innovation, product preannouncements, and predation; [w:] *American Economic Review* 76; pp 940-955.

GLEICK, J. 1987. *Chaos: making a new science*. Penguin, New York.

Gould, S. J. 1991. The Panda Thumb of Technology; [w:] *Bully for Brontosaurus*. Norton, New York.

KATZ, M. L., SHAPIRO, C. 1985. Network Externalities, Competition, and Compatibility; [w:] *American Economic Review*, Vol. 75, pp. 424-440.

KRUGMAN, P. 1994 *Peddling prosperity*. Norton, New York.

KWAŚNICKI, W. 1994/1996. *Knowledge, Innovation, and Economy. An Evolutionary Exploration*., Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej; drugie wydanie w 1996 przez Edward Elgar Publishing Limited; Cheltenham, UK, Brookfield, US.

KWAŚNICKI, W. 2000. „Ewolucyjny model rozwoju przemysłu – perspektywy badawcze i dydaktyczne", *Ekonomista*, nr 4, 2000.

KWAŚNICKI, W. 2003. "Leaping across the mountains, bounding over the hills." Punctualism and gradualism in economic development; [w:] P. P. Saviotti (red.) *Applied Evolutionary Economics: New Empirical Methods and Simulation Techniques*. Edward Elgar Publishing, London.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1990. The Fable of the Keys; [w:] *Journal of Law and Economics*, Vol. 33; pp. 1-26.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1994. Network externality: An uncommon tragedy; [w:] *Journal of Economic Perspectives* 8; pp 133-50.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1995. Path dependence, lock-in and history; [w:] *Journal of Law, Economics, and Organization* 11; pp 205-226.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1995b. Are network externalities a new source of market failure? [w:] *Research In Law And Economics* 17; pp 1-22.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1996. Market processes and the selection of standards; [w:] *Harvard Journal of Law and Technology* 9; pp 283-318.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1996. Should technology choice be a concern for antitrust? [w:] *Harvard Journal of Law and Technology* 9; pp 283-318.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1995. *Market Processes and the Selection of Standards*. Working paper.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1998. "Path Dependence" - hasło w: *The New Palgraves Dictionary of Economics and the Law*. MacMillan.

LIEBOWITZ, S. J., MARGOLIS, S. E. 1998a. "Network Externality" - hasło w: *The New Palgraves Dictionary of Economics and the Law*. MacMillan.

WADDINGTON, C. H. 1941. Canalization of development and the inheritance of acquired characteristics; [w:] *Nature* 150; pp 563-565.

WADDINGTON, C. H. 1956. *Principles of Embryology*. Macmillan, New York.

WADDINGTON, C.H. 1974. A Catastrophe Theory of Evolution; [w:] A*nnals of the New York Academy of Sciences* 231; pp 32–42.

WADDINGTON, C.H. 1977. Stabilization of Systems, Chreods and Epigenetic Landscapes; [w:] *FUTURES* 9(2); pp 139–46.