

METAEKONOMIA

Zagadnienia
z filozofii ekonomii

Redakcja
MARCIN GORAZDA
ŁUKASZ HARDT
TOMASZ KWARCIŃSKI

© Copyright by Copyright by Authors, 2016
© Copyright by Copernicus Center Press, 2016

Recenzja wydawnicza
prof. dr hab. Jerzy Wilkin

Projekt okładki
Michał Duława

Grafika na okładce
© Copyright by zhu difeng / Fotolia.com

Projekt typograficzny
Mirosław Krzyszkowski

Skład
MELES DESIGN

Publikacja dofinansowana przez Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
i Uniwersytet Warszawski

ISBN 978-83-7886-276-5

Wydanie I

Kraków 2016



**Copernicus
Center**
PRESS

Wydawca: Copernicus Center Press Sp. z o.o.
pl. Szczepański 8, 31-011 Kraków
tel. (+48) 12 430 63 00
e-mail: marketing@ccpress.pl
www.ccpress.pl

Druk: OSDW Azymut

Spis treści

<i>Uskali Mäki</i>	
Przedmowa	9
<i>Marcin Gorazda, Łukasz Hardt, Tomasz Kwarciniński</i>	
Metaekonomia. Zagadnienia z filozofii ekonomii	11
I. WPROWADZENIE	
<i>Wojciech Giza</i>	
Historia związków ekonomii z filozofią	21
<i>Łukasz Hardt</i>	
Dlaczego filozofia ekonomii?	43
<i>Paweł Kawalec</i>	
Wpływ filozofii ekonomii na filozofię nauki	53
II. EKONOMIA JAKO NAUKA	
<i>Bartosz Scheuer</i>	
Konstruktywizm w ekonomii	69

Joanna Dzionek-Kozłowska

Homo oeconomicus w XXI wieku.

Imperializm ekonomii a ekonomia behawioralna 105

Andrzej Malawski

Matematyzacja ekonomii: matematyczność czy matematyzowalność

rzeczywistości gospodarczej 131

Krzysztof Nowak-Posadzy

Refleksyjność w ekonomii 159

III. METODOLOGIA EKONOMII

Marcin Gorazda

Wyjaśnienie naukowe w ekonomii 199

Łukasz Hardt

Modele w ekonomii 223

Robert Mróz

Wnioskowania przyczynowe w ekonomii 251

Wojciech Zaluski

Racjonalność i teoria gier 277

Witold Kwaśnicki

Symulacja – alternatywne narzędzie analizy ekonomicznej 303

Krzysztof Mucha

Kontrowersje związane ze stosowaniem klauzuli *ceteris paribus*

w ekonomii 337

IV. EKONOMIA I ETYKA

Tomasz Kwarciański

Zagadnienia etyczne w ekonomii361

Ryszard Kowalski, Tomasz Kwarciański

Racjonalność, użyteczność, dobrobyt.....387

Ryszard Kowalski

Ekonomia dobrobytu i sprawiedliwość dystrybucyjna407

*Agnieszka Wincewicz-Price**Homo oeconomicus moralis* – ekonomiczne analizy zachowań moralnych435

O Autorach459

Symulacja – alternatywne narzędzie analizy ekonomicznej

W ostatnich kilkudziesięciu latach obserwujemy bardzo szybki rozwój podejścia symulacyjnego do analizy różnorodnych zjawisk: w naukach technicznych (inżynierskich), w fizyce, biologii, chemii oraz w naukach społecznych i w ekonomii. Celem tego rozdziału jest zwrócenie uwagi na zalety i wady tego alternatywnego podejścia do analizy systemów. Generalnie możemy powiedzieć, że atrakcyjność, a w wielu przypadkach konieczność, wykorzystania podejścia symulacyjnego wynika z potrzeby budowy na tyle złożonych i nieliniowych modeli, że ich analityczne rozwiązanie nie jest możliwe¹.

Jest pewnym mitem przekonanie (zwłaszcza wśród ekonomistów głównego nurtu), że fizyka jest tak dojrzałą nauką, że w powszechnym użyciu są tam metody matematyczne, że fizycy stoją na twardym gruncie rozwiązań analitycznych swoich modeli i nie ma tam miejsca, np. na metody symulacyjne. Jak dalekie jest to od prawdy widać choćby po starym problemie z mechaniki klasycznej, nazywanym problemem trzech ciał (ogólnie n -ciał). Problem ten postawiony został jeszcze przez Isaaca Newtona, ale trzeba było czekać aż do 1887 roku by znaleźć jego „rozwiązanie”. W tym właśnie roku król Szwecji, Oskar II przyznał nagrodę Henri’emu Poincaré za udowodnienie, że układ równań różniczkowych opisujących ruch trzech ciał, zgodnie z mechaniką newtonowską, nie ma rozwiązania analitycznego. Jeśli zatem dla tak prostego przypadku, jakim jest ruch trzech ciał

¹ Rozdział ten traktować należy jako głos praktyka, inżyniera i ekonomisty, który na pewnym etapie swoich badań musiał wypracować dla siebie pewne stanowisko metodologiczne dotyczące modelowania symulacyjnego. Z pewnością przedstawione tutaj stanowisko dalekie jest od systematycznego spojrzenia zawodowego filozofa.

nie jesteśmy w stanie znaleźć rozwiązania analitycznego i musimy odwoływać się do metod symulacyjnych, to co możemy powiedzieć o modelach próbujących opisać zjawiska gospodarcze, czy społeczne? Wydaje się, że Newton był bardziej świadomy ograniczeń w stosowaniu metod analitycznych do opisu zjawisk społecznych niż czynią to współcześni ekonomiści głównego nurtu. Po utracie 20 tys. funtów w wyniku South Sea Bubble Newton miał powiedzieć: „Potrafię przewidzieć ruchy gwiazd – ale nie umiem przewidzieć rozmiarów ludzkiego szaleństwa”.

Rozwój podejścia symulacyjnego (także w ekonomii) jest silnie skorelowany z postępowaniem w technologii komputerowej. Rosnąca moc obliczeniowa współczesnych komputerów, rozwój bardzo przyjaznych użytkownikowi programów symulacyjnych (obecnie najczęściej z interfejsem graficznym umożliwiającym budowanie modelu z wbudowanego zestawu procedur – „klocków”) oraz rosnące możliwości przedstawienia graficznego wyników badań pozwalają na symulację przy wykorzystaniu metafor i analogii lepiej odpowiadających rzeczywistym procesom. Przedstawione zostaną trzy główne rodzaje modeli symulacyjnych obecnych w analizie ekonomicznej, a mianowicie te zakorzenione w tradycji schumpeterowskiej, symulacji agentowej (*Agent-based Simulation Approach*, ACE) oraz w podejściu *Dynamiki Systemów*, rozwiniętym jeszcze w latach 50. dwudziestego wieku przez Jay W. Forrestera.

1. Specyfika podejścia symulacyjnego

Badanie symulacyjne wymaga dobrze zaprojektowanych metod budowy modelu, jego walidacji i weryfikacji. Jest pewnym truizmem stwierdzenie, że model opisujący jakiś fragment rzeczywistości jest zawsze uproszczonym, wyidealizowanym i przybliżonym przedstawieniem badanego zjawiska². Warto jednak być świadomym tego w każdym momencie, zwłaszcza wtedy kiedy stosuje się w praktyce (np. przy podejmowaniu decyzji) wnioski płynące z badania modelu. Każdy system teoretyczny to rodzaj abstrakcji opisujący w bardzo specyficzny sposób relacje między wybranymi (abstrakcyjnymi) obiektami (reprezentującymi w wyidealizowany sposób obiekty

² Więcej o modelach w ekonomii w rozdziale *Modele w ekonomii*.

rzeczywiste). Taki system może być traktowany jako model reprezentujący wybrane aspekty rzeczywistości tylko wtedy, gdy istnieje homeomorfizm między obiektami rzeczywistymi i abstrakcyjnymi. Dlatego można powiedzieć, że każdy model składa się z trzech podstawowych elementów: zbioru obiektów (bytów) abstrakcyjnych, relacji między nimi i homeomorfizmu, umożliwiającego właściwą interpretację bytów abstrakcyjnych w kategoriach zjawisk rzeczywistych. Henri Poincaré (1905, XXIV) napisał w *Science and Hypothesis*: „celem nauki nie są rzeczy same w sobie, jak w swej naiwności wyobrażają to sobie dogmatycy, ale stosunki między rzeczami; poza tymi stosunkami nie ma poznawalnej rzeczywistości”.

Wydaje się, że istnieją cztery podstawowe powody budowy i analizy modeli:

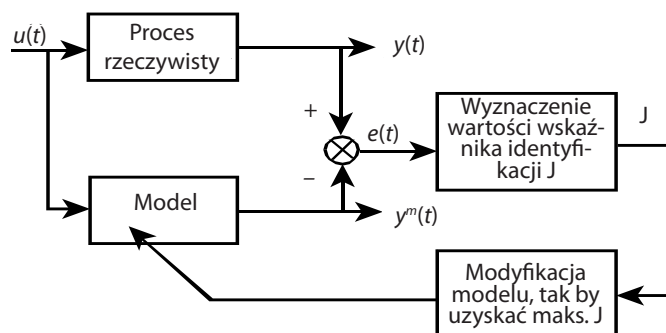
- zrozumienie i wyjaśnienie danego zjawiska,
- prognozowania (przewidywania przyszłego rozwoju)³ lub dokonanie tzw. retroprognozy,
- wspomaganie podejmowania decyzji w celu osiągnięcia określonych celów oraz
- projektowanie systemu, tak by jego funkcjonowanie było, wedle przyjętego kryterium, optymalne.

W różnych naukach, waga i kolejność tych powodów budowy modelu może być inna. Ta przedstawiona powyżej wydaje mi się być odpowiednią w przypadku ekonomii (i innych nauk społecznych).

³ Możemy mówić o prognozowaniu ilościowym i jakościowym. W prognozowaniu ilościowym chodzi o przewidzenie stanu badanego systemu, podczas gdy w prognozowaniu jakościowym chodzi o przewidzenie charakteru przyszłego rozwoju (czy wystąpią fluktuacje, czy system zmierza do stabilnego stanu równowagi, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji kryzysowej, czy rozwój może mieć charakter chaotyczny, itp.). W naukach społecznych i w ekonomii prognozowanie jakościowe wydaje się być odpowiedniejszym. Oczekiwanie od tych nauk prognozowania ilościowego jest chyba zbyt daleko idącym oczekiwaniem. Przy okazji, tylko trochę przesadzając, twierdzę, że i w innych naukach możliwości prognozowania ilościowego są nazbyt optymistycznie postrzegane. Dlaczego oskarża się ekonomistów, że nie są w stanie przewidzieć nadchodzącego kryzysu (tak np. było po kryzysie w 2008 r., co chyba najdobitniej wyraziła brytyjska królowa, Elżbieta II), a nikt nie oskarża np. geologów (że nie przewidują, kiedy nastąpi trzęsienie ziemi) czy hydrologów, że nie przewidują nadchodzącej powodzi (mam tu na myśli też konkretny przypadek wielkiej powodzi we Wrocławiu w 1997 r.), ale takich przykładów z innych nauk można byłoby mnożyć.

Struktura modelu zależy od celów naszych badań i wszystkich ograniczeń związanych z badanym procesem. W przypadku modeli stosowanych w naukach technicznych, w dużym stopniu także w fizyce, dopasowanie modelu do rzeczywistości (uzyskanie jak największego podobieństwa zachowania się modelu i tego co obserwujemy w rzeczywistości) dokonuje się w procesie tzw. identyfikacji. Mając zebrane dane o przebiegu procesu rzeczywistego $y(t)$, przy danych wejściowych $u(t)$, modelujący stara się tak dopasować parametry modelu i jego strukturę by wyjście z modelu $y^{m(t)}$ (przy tych samych danych wejściowych $u(t)$) w jak najlepszy sposób odzwierciedlało rzeczywisty sygnał wyjściowy $y(t)$. Dopasowanie modelu (jego identyfikacja) dokonuje się przy założeniu pewnego kryterium identyfikacji (najczęściej jest to tzw. błąd średniokwadratowy). W schematyczny sposób proces dopasowania modelu (jego identyfikacja) przedstawiony jest na Rysunku 1. Ten rodzaj dopasowania nazywany jest często „testem replikacji zachowania”. Głównym celem jest wtedy porównanie zachowania modelu z zachowaniem modelowanego systemu. Podejście takie możliwe jest w przypadku, gdy dostępne są w miarę dokładne dane historyczne (zebrane w wyniku obserwacji procesu rzeczywistego lub uzyskane w wyniku eksperymentów laboratoryjnych). Oznacza to, że przy tych samych warunkach początkowych i sygnałach wejściowych, zachowanie modelu powinno replikować dane historyczne. Ważną kwestią jest to, jak ściśle zachowanie modelu powinno odpowiadać danym historycznym? Kwestia ta jest szczególnie istotna w ekonomii (i innych naukach społecznych), dlatego, że zwykle jakość danych historycznych jest „daleka od doskonałości”. Jeśli dane historyczne są niewiarygodne lub wręcz nie są dostępne, test replikacji zachowania jest nieuzasadniony i wtedy powinno się zastosować inne metody oceny jakości modelu (o czym wspomnimy w dalszej części pracy).

Takie „inżynierskie” podejście, poprzez identyfikację parametrów modelu lub modyfikację struktury modelu, najczęściej nie jest możliwe do zastosowania w przypadku modeli społeczno-ekonomicznych (mimo tego wielu ekonomistów, zwłaszcza tzw. głównego nurtu, stosuje tego typu formalistyczne, „inżynierskie” podejście). Przede wszystkim, w większości zjawisk społeczno-ekonomicznych nie jest możliwe określenie klasy odpowiednich modeli (modele liniowe, których użycie możliwe jest w naukach inżynierskich i w fizyce, nie są najczęściej możliwe do zastosowania w ekonomii). W przeciwieństwie do



Rysunek 1. Dopasowanie modelu do rzeczywistości (identyfikacja modelu)

systemów technicznych (inżynierskich), w ekonomii nie mamy często możliwości dokonywania wielokrotnych i powtarzalnych eksperymentów. W naukach technicznych możliwe jest podzielenie całego systemu na szereg mniejszych podsystemów, tak by możliwa była ich osobna analiza. Systemy społeczne (gospodarcze) są bardzo ze sobą powiązane, dlatego ich rozbitcie na częściowo izolowane podsystemy jest bardzo często niemożliwe. W analizie systemów technicznych częstym celem jest optymalne zaprojektowanie danego systemu, albo optymalna kontrola (sterowanie) procesami technicznymi. Jak pokazuje doświadczenie historyczne, takie przeniesienie z techniki celu optymalnego zaprojektowania systemu, w przypadku procesów społecznych i gospodarczych prowadzi najczęściej do katastrofy. Dlatego wydaje się, że w naukach społecznych i ekonomicznych głównymi celami budowy modeli powinny być: lepsze zrozumienie mechanizmów rozwoju obserwowanych zjawisk (procesów), budowanie różnych, alternatywnych scenariuszy rozwoju określonych systemów społeczno-gospodarczych oraz edukacja decydentów (by wyrobić w nich pewne nawyki działania, kształtować ich intuicje, zdolności kierowania, itp.). Ten ostatni cel w naukach społecznych i w ekonomii jest możliwy do osiągnięcia poprzez interaktywne zastosowania modeli symulacyjnych do testowania decyzji podejmowanych przez menedżerów i analizowanie reakcji modelu przy różnych zachowaniach się decydentów.

Wydaje się, że ocena modeli procesów społecznych (gospodarczych) musi postępować w inny sposób niż w naukach technicznych czy w fizyce. Jednakże ta inżyniersko-fizykalistyczna wizja modelo-

wania zjawisk gospodarczych, zainicjowana w trakcie rewolucji marginalistycznej w latach siedemdziesiątych dziewiętnastego wieku⁴, dominuje w głównym nurcie analizy ekonomicznej⁵. Ekonomisci ortodoksyjni nadal uznają za zasadne korzystanie z metodologicznych sugestii fizyki i nauk technicznych, których przesłanki, w największym skrócie, mogą być ujęte w czterech punktach: (1) wyodrębnij (wyizoluj) konkretną sferę rzeczywistości społeczno-gospodarczej, (2) określ podstawowe relacje pomiędzy tą wyizolowaną sferą zjawisk z otoczeniem zewnętrznym, (3) zbuduj model, który opisuje wszystkie ważne relacje obserwowane w wybranej sferze rzeczywistości oraz wszystkie istotne wpływy środowiska zewnętrznego oraz (4) na podstawie tego modelu określ optymalne reguły postępowania lub wyznacz optymalną ścieżkę rozwoju. Takie fizykalistyczne podejście do procesów społeczno-gospodarczych okazało się błędne i mylące. Wiele decyzji podejmowanych przez polityków na podstawie takich modeli przyczyniło się do wystąpienia kryzysów i dużych napięć społecznych i gospodarczych. Szczególnie widoczne było to w latach 70. dwudziestego wieku, czyli w okresie radykalnych zmian strukturalnych w gospodarkach krajów uprzemysłowionych, ale również w 1998 roku (kryzys finansowy spowodowany upadkiem Long Term Capital Management, LTCM⁶),

⁴ Więcej o szkołach ekonomicznych i ich relacjach z filozofią w rozdziale *Historia związków ekonomii z filozofią*.

⁵ Philip Mirowski w swojej książce poświęconej relacjom pomiędzy rozwojem fizyki i ekonomii stwierdził, że ekonomia uzyskała w końcu status nauki poprzez zastosowanie w analizie procesów gospodarczych fizycznej idei energii w postaci wypracowanej przez fizyków w połowie XIX wieku (Mirowski 1989: 196). Twórcy ekonomii neoklasycznej, zdaniem Mirowskiego, podjęli próbę formalnego opisu rzeczywistości gospodarczej poprzez wykorzystanie idei „poła sił” i energii jako analogów umysłu człowieka i użyteczności. Tego rodzaju metafora legła u podstaw rewolucji marginalistycznej oraz stworzyła podstawy do bardzo sofistycznego, sformalizowanego podejścia w ekonomii neoklasycznej XX wieku.

⁶ Ciekawym w tym kontekście jest przypadek modeli rynków finansowych (tzw. opcji i instrumentów pochodnych) które opracowali Fischer Black, Myron Scholes i Robert Merton (za tę pracę Scholes i Merton dostali nagrodę im. Alfreda Nobla z ekonomii w 1997 roku; Black niestety zmarł w 1995 roku). Modelami tymi posługiwano się zarządzając jednym z najbardziej znanych funduszy „hedgingowych”, powstałym w 1993 roku Long Term Capital Management (LTCM). Jednymi z partnerów (założycieli) tego funduszu byli właśnie Scholes i Merton. W okresie od 1994 do 1997 roku LTCM osiągał bardzo wysokie zyski, w tym czasie potroił też wielkość kapitału, którym obracał. Myron Scholes twierdził, że LTCM funkcjonuje jak odkurzacz wciągający drobne pieniądze („miedziaki”), których istnienia na rynku inni po prostu nie zauważają. Strategia LTCM funkcjonowała dobrze do

czy nawet w czasie ostatniego kryzysu zainicjowanego upadkiem Lehman Brothers w 2008 roku.

W procesach społeczno-gospodarczych, wyizolowanie określonych sfer rzeczywistości, specyfikacja istotnych relacjach z otoczeniem zewnętrznym, budowania odpowiednich modeli matematycznych i optymalizacja polityk gospodarczych jest praktycznie niemożliwa. Dlatego pytania dotyczące optymalnych decyzji w perspektywie długoterminowej, jak również w okresach zmian strukturalnych, tracą na znaczeniu. Daleko ważniejsze stają się pytania o mechanizmy długofalowego rozwoju oraz sposoby stwarzania odpowiednich możliwości rozwoju przedsiębiorstw (np. określenie odpowiednich reguł polityki gospodarczej) tak, aby osiągnąć satysfakcjonującą (a nie optymalną) ścieżkę rozwoju. Tego rodzaju pytania tworzą rdzeń podejścia ewolucyjnego, nie tylko w ekonomii. Akceptacja perspektywy ewolucyjnej w analizie systemu społeczno-gospodarczego niemal naturalnie wymusza specyficzny sposób subtelnego kontrolowania rozwoju systemów społecznych, nie przez narzucanie optymalnych wartości odpowiednich parametrów, ale poprzez tworzenie korzystnych warunków dla odpowiedniego, trwałego i długofalowego rozwoju.

By stosować (lub nie stosować) podejście formalne (matematyczne) do analizy ekonomicznej, ekonomiści ortodoksyjni nie muszą wcale odwoływać się np. do postulatów szkoły austriackiej, która niemalże z definicji jest przeciwna budowie modeli matematycznych w ekonomii. Wystarczyłoby aby pamiętali o przesłaniu jednego z największych ekonomistów głównego nurtu przełomu XIX i XX wieku, Alfreda Marshalla (1842–1924). Marshall przedstawił swoje stanowisko w tej kwestii w swym podstawowym dziele *Principles of Economics* (2013 [1890]) oraz w liście z 1906 roku do swojego

połowy 1998 roku. W maju i czerwcu 1998 roku pojawiły się pierwsze poważne problemy, po raz pierwszy w historii LTCM wystąpił spadek aktywów w kolejnych dwóch miesiącach i to aż o 16%. Załamanie się funduszu nastąpiło we wrześniu tegoż roku, i gdyby nie wsparcie finansowe 14 banków (na sumę 3,6 mld dolarów), fundusz z pewnością by upadł i mógłby przyczynić się do załamania się systemu finansowego w skali całego świata. Jak oceniają specjaliści, jednym z ważnych powodów załamania się LTCM była zbyt daleko idąca wiara w adekwatność stosowanych, sformalizowanych modeli finansowania. Osobną kwestią (hipotezą), którą w tym kontekście można postawić, jest: czy jeśli pozwolono by na upadek LTCM w 1998 roku, to czy nie udało by się uniknąć (albo przynajmniej bardzo złagodzić) kryzysu finansowego w 2007–08 roku?

przyjaciela A.L. Bowleya. We wstępie do pierwszego wydania *Zasad ekonomiki* w 1890 r. Marshall napisał:

Działanie natury jest skomplikowane; nic nie zyskujemy na dłuższą metę, udając, że jest ona prosta i starając się ją opisać w kilku elementarnych formułach... Naczelną zasadą stosowania czystej matematyki w kwestiach gospodarczych wydaje się być traktowanie jej jako pomoc zaangażowanej osobie w szybkim, krótkim i dokładnym zapisie pomysłów na jej własny użytek: i upewnieniu się, że ma ona dostatecznie dużo przesłanek do sformułowania swoich wniosków (Marshall 2013).

Natomiast reguły wykorzystania modeli w analizie ekonomicznej, które stosował Marshall już jako doświadczony ekonomista i matematyk, ujął w liście z 27 lutego 1906 roku do Arthura Lyon Bowleya (*The Correspondence ...*, 1996: 175) w następujący sposób:

W późniejszych latach mojej pracy miałem rosnące wrażenie, że jest bardzo mało prawdopodobne by odnoszące się do hipotez ekonomicznych dobre twierdzenie matematyczne było jednocześnie dobrą ekonomią; dlatego coraz częściej odwoływałem się do następujących reguł:

1. stosuj matematykę jako język skrótu, a nie jako podstawowe narzędzie badawcze;
2. „pobaw się” tymi formułami, modelem matematycznym, aż będziesz z tego zadowolony;
3. wyraż to wszystko co sformalizowałeś w języku naturalnym, opisując to;
4. następnie zilustruj to wszystkimi ważnymi przykładami zaczerpniętymi z rzeczywistości gospodarczej;
5. spal wszystkie używane dotychczas formuły matematyczne;
6. jeśli nie udało ci się w (4), spal także (3). To ostatnie robiłem często.

Odmienny charakter systemów fizycznych i technicznych oraz systemów społeczno-gospodarczych powoduje zasadniczo inny sposób testowania i sprawdzania poprawności opracowanych modeli. Jak już wspomniano, w inżynierii systemów możliwe jest porównanie danych liczbowych (zapisy rozwoju rzeczywistych systemów) z wyjściem numerycznym modelu. W systemach społeczno-gospodarczych zebranie odpowiednio długiego i wiarygodnego zestawu potrzebnych danych statystycznych jest zwykle niemożliwe. W związku z tym, walidacja i ocena wiarygodności modeli społeczno-ekonomicznych z ko-

nieczności musi być inna. Dlatego coraz częściej wykorzystywanym jest dawna propozycja Nicholasa Kaldora, ujęta w tzw. wyidealizowanych (stylizowanych) faktach. Jak to ujął Kaldor (1961):

Każda teoria musi z konieczności być oparta na abstrakcji; ale wybrany rodzaj abstrakcji nie może dokonać się w próżni: musi być dostosowany do cech charakterystycznych procesu gospodarczego, jakie dyktuje nam doświadczenie. Stąd teoretyk w wyborze konkretnego podejścia badawczego, powinien zacząć od podsumowania faktów, które uważa za istotne dla jego problemu. Ponieważ fakty, gromadzone przez statystyków, zawsze są przedmiotem licznych kompromisów i dokonywanych zakwalifikowań, i choćby z tego powodu nie mogą zostać dokładnie zaprezentowane, teoretyk, moim zdaniem, powinien mieć swobodę zacząć swoją pracę od sformułowania listy „stylizowanych” (wyidealizowanych) faktów – czyli skoncentrować się na ogólnych tendencjach, ignorując indywidualne, bardziej szczegółowe dane i skoncentrować się na podejściu „co by było gdyby”, tzn. zbudować hipotezę, że mogą odpowiadać one tym „stylizowanym faktom”, bez konieczności odwoływania się do historycznej dokładności, ani wystarczalności tych faktów lub tendencji wcześniej przedstawionych.

Lista takich wyidealizowanych faktów może być bardzo długa i różna w różnych sytuacjach. Ważne by ją sformułować na podstawie rzetelnych obserwacji systemów rzeczywistych. Im większą liczbę takich wyidealizowanych faktów obserwujemy również w zachowaniu zbudowanego modelu, tym większe będziemy mieć zaufanie do tego modelu i tym bardziej będziemy przekonani, że wnioski uzyskane z analizy tego modelu mogą być zastosowane w praktyce gospodarczej.

Stojąc przed problemem wyboru pomiędzy alternatywnymi modelami, nie oceniamy każdego pojedynczego założenia, prawa, czy wniosku, które odnoszą się do każdego z tych modeli. W rzeczywistości staramy się stosować pewien zestaw kryteriów i starać się oceniać każdy alternatywny model stosując te kryteria cząstkowe. Dopiero w następnym kroku oceny modeli, stosując różne wagi przypisywane każdemu z tych kryteriów cząstkowych, dokonujemy subiektywnej oceny całościowej modeli alternatywnych. Tak zbudowany ogólny wskaźnik pomaga nam znaleźć ostateczną odpowiedź na nasze podstawowe pytanie: który z modeli uznaję za lepszy, który model wybieram do dalszych rozważań, czy do praktycznego wykorzystania? Naturalnie takich kryteriów cząstkowych, najczęściej

wybijanych też subiektywnie przez każdego zainteresowanego (badacza, naukowca, praktyka, polityka, przedsiębiorcę...), jest bardzo dużo. Wydaje się, że tymi najważniejszym i najczęściej stosowanymi kryteriami cząstkowymi są:

- *Poprawność* – zachowanie się modelu (najczęściej mierzone wybranymi wskaźnikami ilościowymi) powinno być jak najbardziej zbliżone do wyników obserwacji procesów rzeczywistych i/lub wyników badań eksperymentalnych odnoszących się do opisywanych przez model procesów;

- *Spójność* – model powinien być spójny nie tylko wewnętrznie (stosując np. wszelkie kryteria logiki), ale także z innymi powszechnie akceptowanymi modelami i teoriami odnoszącymi się do opisanego podobnych lub pokrewnych zjawisk;

- *Uniwersalność* – konsekwencje (wnioski, postulaty, procedury badawcze, proponowane polityki i działania) wynikające z analizy modelu nie powinny odnosić się do pojedynczych przypadków, sytuacji, czy lokalnych warunków wynikających np. z inspiracji badawczych inicjujących konstruowanie danego modelu. Konsekwencje te powinny mieć naturę ogólną, a model powinien być możliwy do stosowania niezależnie od np. miejsca fizycznego czy czasu (epoki).

- *Prostota* – model powinien tworzyć porządek w wyodrębnionych wcześniej zjawiskach; brane są tutaj także pod uwagę takie subiektywne oceny jak harmonia i piękno modelu;

- *Płodność* – model powinien rzucić nowe światło na dobrze znane zjawiska; powinien być generatorem nowych odkryć, inspirować do dalszych badań;

- *Użyteczność* – to praktyczne kryterium dominuje często w naukach praktycznych, będących bardzo blisko inżynierii i przemysłu⁷.

Nawiasem mówiąc, jest pewnym mitem twierdzenie, że w oce-

⁷ Jennifer Badham (2015) przedstawiła propozycję spojrzenia na proces modelowania, symulacji i wykorzystywania modeli z punktu widzenia praktyka zajmującego się prowadzeniem szeroko rozumianej polityki rozwoju organizacji. Według niej istnieją trzy szeroko rozumiane kryteria, które pozwalają ocenić przydatność danego modelu dla konkretnego projektu badawczego:

- Funkcjonalność (*functionality*) – czy model ma być pomocnym w osiągnięciu celów danego projektu?;
- Dokładność (*accuracy*) – na ile zachowanie modelu odzwierciedla zachowanie się badanego systemu?;
- Wykonalność (*feasibility*) – czy są dostępne zasoby potrzebne do efektywnego wykorzystania zbudowanego modelu?.

nie jakości modeli fizycy i inżynierowie opierają się na twardych danych liczbowych. Można podać wiele przykładów subiektywnej oceny modeli dokonywanych przez fizyków. Kiedy Mikołaj Kopernik ogłosił swoją teorię, jej akceptacja np. przez Giordano Bruno czy Galileusza dokonana była na podstawie takich subiektywnych ocen jak prostota czy płodność, na przekór „obiektywnym” kryteriom takim jak np. poprawność (np. przewidywania pozycji planet), spójność z dotychczasową wiedzą, czy użyteczność. Niemalże powszechnie akceptowana teoria Ptolemeusza była pod tym względem znacznie lepiej oceniana. Dopiero sto pięćdziesiąt lat później, kiedy Kepler zaproponował by przyjąć założenie, że planety poruszają się po elipsach a nie po kołach, teoria Kopernika zaczęła być lepiej oceniana poprzez pryzmat takich kryteriów jak poprawność czy użyteczność.

Kiedy Erwin Schrödinger zaproponował swoje sławne równanie falowe, nie było ono zaakceptowane przez ówczesne środowisko fizyków. Wielu fizyków wskazywało na niedostatki tego modelu i niezgodność np. z teorią względności Einsteina. Jednym z niewielu, który zaakceptował ten model był Paul Dirac. Argumentem, który przekonał Diraca do tego równania było jego „piękno”, jak sam to wyraził: „Ważniejsze jest by mieć poczucie piękna w równaniach niż to czy dane równania dobrze pasują do danych eksperymentalnych”.

Podobne stanowisko reprezentował także Richard Feynman, jeden z największych fizyków XX wieku. Był on gotów zaakceptować wiele teorii, nawet jeśli były sprzeczne z danymi eksperymentalnymi, jeśli dana teoria czy model była elegancka i piękna. W okresie kiedy zaproponował swoją teorię, mając 40 lat, stwierdził: „Był taki moment, kiedy wiedziałem, jak działa przyroda. Teoria ta miała elegancję i piękno. Ta cholerna rzecz lśniła”⁸.

Postulat piękna przyjmuje niekiedy (zwłaszcza wśród matematyków) postać pewnej ogólnej reguły. Godfrey Harold Hardy (1877–1947) napisał pod koniec swojego życia *A Mathematician's Apology* (1940: 18): „Piękno jest pierwszym testem: nie ma trwałego miejsca w świecie dla brzydkiej matematyki”⁹. Podobnie swoje wieloletnie

⁸ Np. <http://www.gresham.ac.uk/lecture/transcript/print/creativity-in-art-creativity-in-science/> [dostęp: 04.2016].

⁹ Tam też Hardy przyznał, że kategoria piękna w matematyce jest kategorią subiektywną, podobnie jak to jest z oceną piękności wiersza.

doświadczenia wyrazili filozof procesu i wielki matematyk Alfred North Whitehead (1861–1947) w *Adventures of Ideas* (1933, part 1, ch. 5): „Ważniejsze jest, by dana propozycja była interesująca niż to by była prawdziwa” oraz fizykochemik, XX-wieczny człowiek renesansu, Michael Polanyi:

(...) pasja naukowa służy również jako przewodnik w ocenie tego, co jest ważniejsze a co jest mniej interesujące; co jest wielkie w nauce, a co stosunkowo mało znaczące. Chcę pokazać, że ta ocena zależy ostatecznie od poczucia piękna intelektualnego; że jest reakcją emocjonalną, która nigdy nie może być beznamiętnie określona, nie bardziej niż możemy beznamiętnie zdefiniować piękno dzieła sztuki czy doskonałości szlachetnego działania (Polanyi 1962: 143).

Trudności związane z wyborem i oceną (walidacją) modeli przedstawione zostały w Kwaśnicki (1999). Mary S. Morgan dokonała przeglądu modeli jakie w ostatnich dwustu latach zaproponowali ekonomiści do opisu rzeczywistości gospodarczej, komentując je z filozoficznego punktu widzenia (Morgan 2012). Jak sama pisze we wstępie: „książka ta nie jest typową monografią. Jest to seria historycznych studiów przypadków, do których przedstawiono filozoficzne komentarze”.

Nigel Gilbert i Klaus G. Troitzsch (2005) dokonali przeglądu metod symulacji procesów społecznych i gospodarczych. Jest to swego rodzaju praktyczny przewodnik po metodach symulacyjnych stosowanych w naukach społecznych i w ekonomii. Książka ta może być też pomocna w zrobieniu pierwszego kroku w kierunku budowy własnych modeli symulacyjnych przez ludzi niemających wiele doświadczeń w tego typu aktywności.

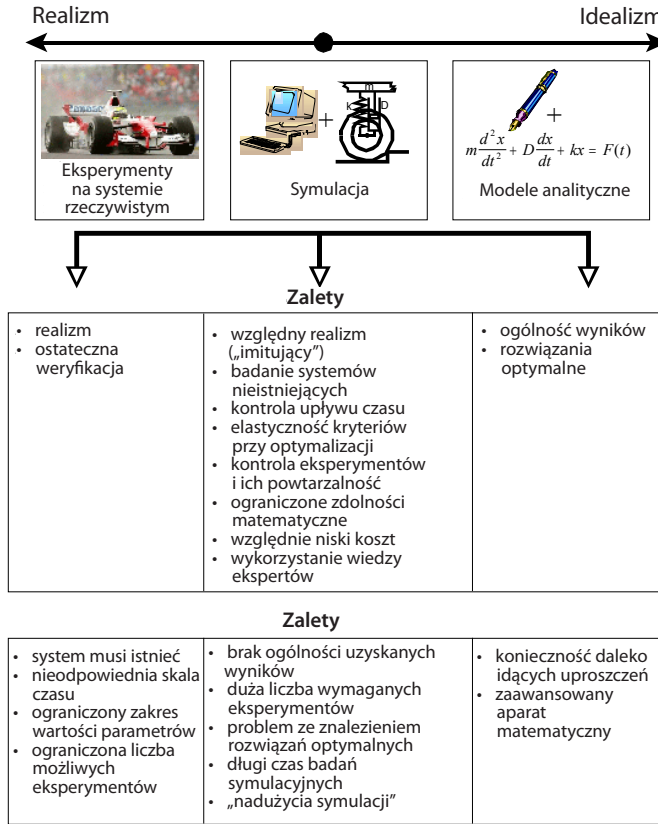
2. Symulacja a inne metody analizy rzeczywistości

Trzy podstawowe techniki budowy modeli i ich wykorzystania do analizy procesów rzeczywistych przedstawiono na Rysunku 2. Z lewej strony tego spektrum znajdują się badania wykonane na obiektach rzeczywistych (fizycznych) (np. testowanie nowej konstrukcji samochodu podczas jazdy na różnych rodzajach nawierzchni, czy badanie zachowania się klientów w fizycznym, prawdziwym lub modelowym (laboratoryjnym) sklepie). Po drugiej stronie całego spek-

trum są modele matematyczne (analityczne, formalne), na przykład wypracowanie zestawu równań różniczkowych do opisu układu zawieszenia samochodu i rozwiązywanie ich analitycznie, czy zbudowanie stochastycznego modelu kolejkowego opisującego pojawianie się zatorów klientów w sklepie. Trzecia możliwość, mianowicie symulacja, mieści się pomiędzy tymi dwiema skrajnościami. W modelu symulacyjnym (obecnie najczęściej komputerowym) określone są pewne moduły (odpowiadające najczęściej strukturze systemu rzeczywistego, jak np. sprężyny, amortyzatory, drążki skrętne, stabilizatory w przypadku modelu samochodu, albo konsumenci, sprzedawcy, personel pomocniczy, półki sklepowe z ułożonymi towarami, w przypadku analizy sklepu). Następnym krokiem jest budowa modeli cząstkowych dla tych modułów, by potem połączyć je, tworząc model całego systemu. Aby być bliżej rzeczywistości, te modele cząstkowe modułów są zazwyczaj nieliniowe, a zatem modele symulacyjne są zwykle nierozwiązywalne analitycznie. Eksperymenty na obiektach rzeczywistych są bardzo utrudnione w zakresie nauk społeczno-ekonomicznych, chociaż niektóre wstępne kroki w tym kierunku, są dokonywane za pośrednictwem tzw. ekonomii eksperymentalnej (behawioralnej, psychologicznej)¹⁰, gdzie w warunkach laboratoryjnych budowane są sytuacje bliskie rzeczywistości.

W przypadku systemów społeczno-ekonomicznych jest bardzo trudne (jeśli w ogóle możliwe) przeprowadzanie powtarzanych doświadczeń, jak to ma zwykle miejsce w przypadku systemów inżynierskich czy fizycznych. Podobnie, jest bardzo trudnym zbudowanie realistycznych modeli analitycznych tego typu systemów (na przykład w postaci równań różniczkowych czy różnicowych). Nawet jeżeli uda się takowy model zbudować, to w większości przypadków nie jest możliwe uzyskanie rozwiązań analitycznych opisujących zachowanie się tego modelu, głównie ze względu na nieliniowość tego modelu. Dlatego bardzo często, w celu uzyskania wyników i zdobycia wiedzy na temat dynamiki zachowania systemu, konieczne jest zbudowanie symulacyjnego modelu komputerowego, który najczęściej dobrze odzwierciedla strukturę prawdziwego systemu i mechanizmów jej rozwoju.

¹⁰ Więcej o relacji ekonomii behawioralnej do ekonomii głównego nurtu w rozdziale *Homo oeconomicus w XXI wieku. Imperializm ekonomii a ekonomia behawioralna*.



Rysunek 2. Trzy metody badania rzeczywistości, ich wady i zalety

Każda z tych trzech metod ma swoje zalety i wady. Hasłowo przedstawione zostały na Rysunku 2. Pełniejszy ich opis wymagałby osobnej publikacji, tutaj ograniczymy się do skrótowego przedstawienia wad i zalet symulacji, odwołując się jednocześnie do wad i zalet dwóch pozostałych metod analizy.

- Niewątpliwą zaletą symulacji jest jej względny realizm¹¹ – większość modeli symulacyjnych realistycznie odzwierciedla rzeczywiste procesy. Zwykle składniki modeli symulacyjnych mają swoje odpowiedniki w systemie realnym. Współczesne programy symulacyjne (pakiety komputerowe) mają bardzo duże możliwości graficznej reprezentacji modelowanego procesu na ekranie kompu-

¹¹ Więcej o krytyce realizmu w ekonomii ze stanowiska konstruktywistycznego w rozdziale *Konstruktywizm w ekonomii*.

tera. Z pewnością eksperymenty z rzeczywistymi systemami oferują znacznie więcej realizmu i dają możliwość rozważenia konkretnych szczegółów, niezauważalnych w podejściu symulacyjnym i w modelach analitycznych. Podobnie eksperymentowanie z prawdziwymi systemami umożliwia ostateczną weryfikację hipotez (np. skuteczności danej polityki, sterowalności, stosowalności danego leku w badaniach klinicznych). Jednakże taka eksperymentalna, ostateczna weryfikacja jest praktycznie możliwa tylko w przypadku systemów inżynierskich, choć i tam często jest bardzo ograniczona. W systemach społeczno-ekonomicznych praktycznie jest to niemożliwe. W postaci szczątkowej realizm występuje w modelach analitycznych, gdzie bardzo często konieczne jest czynienie daleko idących założeń upraszczających wraz z ograniczeniem spektrum możliwych modeli (np. konieczność ograniczenia rozważań do modeli liniowych), co jest spowodowane trudnościami w znalezieniu analitycznego rozwiązania. Dlatego często modele analityczne są bardzo eleganckie i urzekają swym estetyzmem, ale najczęściej nie pasują do rzeczywistych systemów i mają bardzo ograniczone zastosowanie w praktyce.

- Modele symulacyjne dają możliwość badania systemów, które nie istnieją, systemów hipotetycznych, a w niektórych skrajnych przypadkach, systemów, które istnieją tylko w umyśle naukowca (systemy mentalne). Kontrastuje to z podejściem eksperymentalnym, w którym system musi fizycznie istnieć przed planowaną serią eksperymentów.

- Kontrola upływu czasu – w eksperymentach symulacyjnych możliwe jest dostosowanie szybkości upływu czasu do wymagań eksperymentatorów (zwłaszcza możliwości percepcji upływu czasu). Można przyspieszyć czas symulacji i obserwować to co dzieje się w skali kilkuset lat, w czasie kilku sekund czy kilku minut (na przykład, w rozważaniach makroekonomicznych lub zjawisk paleobiologicznych) lub zwolnić (np. w mechanice kwantowej, gdzie procesy trwające w skali nanosekundowej mogą być symulowane w ciągu kilku sekund lub minut). Naturalne ograniczenia powodują, że ustawianie skali czasu nie jest możliwe (a przynajmniej bardzo ograniczone) w eksperymentach z systemami rzeczywistymi. Bardzo często dynamika badanego systemu jest tak powolna, że na wyniki obserwacji musiałyby czekać pokolenia badaczy (dziesiątki lub setki lat w systemie gospodarczym) lub ze względu na naturalną percepcję ludzkiego umysłu proces nie byłby możliwy do zaobserwowania (np. fizyka atomowa).

- Symulacja komputerowa pozwala na dużą elastyczność modyfikacji kryteriów optymalizacyjnych (identyfikacji parametrów modeli oraz celów funkcjonowania systemów). Stosowanie narzędzi analizy formalnej (modeli analitycznych) wymaga szczególnej formy kryteriów optymalizacji (np. kryterium błędu średniokwadratowego). Powszechnym w analizie ekonomicznej jest stosowanie rachunku różniczkowego (gdzie dziedziną zmienności są liczby rzeczywiste) a nie różnicowego (gdzie wartości jakie mogą przyjmować zmienne są dyskretne a nie ciągłe). Już to powoduje, że przy określaniu np. maksymalnego zysku ekonomiści matematyczni posługują się pojęciem pochodnej. W modelach symulacyjnych nie ma takich ograniczeń, np. możliwe jest zastosowanie kryteriów optymalizacji innych niż różniczkowalne. Przy podejściu symulacyjnym znacznie łatwiejsze jest stosowanie wielu kryteriów optymalizacji, np. zamiast powszechnego (i bardzo odległego od rzeczywistego kryterium jakim posługują się przedsiębiorcy) kryterium maksymalizacji zysków, możliwe jest zastosowanie podejścia wielokryterialnego i, tak jak to proponował Herbert Simon, zadowalać się osiągnięciem względnie wysokiego zysku, stabilnej pozycji rynkowej firmy, osiągnięcia wysokiej wartości firmy, dobrego wizerunku firmy, itd.

- Kontrola eksperymentów symulacyjnych. Podobnie jak w modelach analitycznych, tak i w symulacji komputerowej, nie istnieją ograniczenia nakładane na wartości, jakie mogą przyjmować parametry modeli. W eksperymentach symulacyjnych można wymusić wartości parametrów modelu będących poza zakresem spotykanym w systemach rzeczywistych, wartości prowadzących do sytuacji ekstremalnych, krytycznych w zachowaniu się systemu (które zwykle powodują stan katastrofy badanego systemu). W doświadczeniach z rzeczywistymi systemami, spektrum możliwych wyników doświadczalnych jest ograniczone przez zakres możliwych do przetestowania wartości parametrów sterujących. W niektórych przypadkach nie jest możliwe przyjęcie wartości krytycznych niektórych parametrów, bo prowadzić może to do zniszczenia układu rzeczywistego.

- Powtarzalność eksperymentów. Nie chodzi tu tylko o łatwość przeprowadzenia wielu eksperymentów symulacyjnych przy niskim koszcie (co w przypadku eksperymentów na obiektach rzeczywistych jest zwykle niemożliwe). Budowane i analizowane współcześnie modele mają zwykle charakter stochastyczny. Dzięki specyficznym sposobom generowania ciągów liczb losowych (w istocie pseudolo-

sowych) istnieje możliwość przeprowadzenia wielu eksperymentów symulacyjnych dla różnych wartości parametrów modelu, ale dla tego samego ciągu liczb losowych (czyli dla tej samej realizacji procesu stochastycznego). W eksperymentach na obiektach rzeczywistych (fizycznych) możliwości przeprowadzenia wielu takich eksperymentów są bardzo ograniczone. Spowodowane to jest nie tylko wysokim kosztem prowadzenia takich eksperymentów, ale także czasowymi ograniczeniami na przygotowanie kolejnej wersji obiektu fizycznego do takiego eksperymentu.

- W przypadku podejścia symulacyjnego wymagania dotyczące znajomości zaawansowanego aparatu matematycznego i specyficznych metod doświadczalnych jest stosunkowo niewielka. W większości przypadków wymagana jest jedynie podstawowa znajomość matematyki. Ważną cechą podejścia symulacyjnego jest możliwość zdobycia doświadczenia w procesie budowania i rozwijania modelu. (Co nie oznacza, że symulacja jest „łatwa i przyjemna”). Współczesne pakiety symulacyjne umożliwiają budowanie modeli niejako automatycznie na podstawie dostarczonej wiedzy o procesach rzeczywistych (np. przez praktyków, ekspertów). To może być skontrastowane z podejściem analitycznym, gdzie w większości przypadków do budowy i analizy modeli konieczne jest zastosowanie zaawansowanego aparatu matematycznego. Zastosowane tam zaawansowane metody matematyczne w zasadzie uniemożliwiają śledzenie procesu budowy modelu i jego analizy przez „normalnych” (może lepiej przeciętnych) użytkowników.

- Koszt budowy i analizy modeli symulacyjnych jest relatywnie niski – jak się szacuje zwykle nie przekracza on kilku procent wartości rzeczywistego systemu.

- Ważną zaletą współczesnych metod symulacyjnych jest możliwość włączenia do modelu osobistej wiedzy osób zaangażowanych w codzienne funkcjonowanie systemów rzeczywistych będących w sferze zainteresowania badaczy. Możliwe jest wtedy budowanie modeli, których zachowanie jest bardzo bliskie zachowaniu systemów rzeczywistych.

Jak widzimy lista zalet podejścia symulacyjnego jest stosunkowo długa, jednakże podobnie możemy powiedzieć o liczbie wad i niedogodności tego podejścia. Do takich najważniejszych wad i niedogodności podejścia symulacyjnego należy zaliczyć:

- Brak ogólności uzyskanych wyników. Wyniki symulacji są zwykle ważne tylko dla specyficznych warunków wykreowanych dla planowanej serii eksperymentów symulacyjnych. Dlatego konieczne jest, aby być bardzo ostrożnym w formułowaniu uogólniających wniosków i proponowanych zaleceń odnoszących się np. do pożądanых polityk (działań) w stosunku do systemów rzeczywistych. Tutaj widać przewagę metod analitycznych, jako że zwykle wnioski wynikające z analizy modeli formalnych mają charakter ogólny, np. niezależny od specyficznych wartości przyjętych parametrów modelu.

- Aby uzyskać w miarę ogólne wnioski z badania modelu symulacyjnego, konieczne jest wielokrotne powtórzenie eksperymentów dla tych samych wartości parametrów modelu, a potem np. obliczenie średnich wartości zachowania się systemu. Niekiedy dobre i ciekawe rezultaty uzyskuje się przy analizie zachowania się modelu w pojedynczej historii (realizacji) w trakcie eksperymentu symulacyjnego. Taka pojedyncza analiza jest jednak dosyć nużąca (a nawet nudna), i nie pozwala zwykle na wyciągnięcie wniosków ogólnych. Osobnym problemem są trudności w prezentacji wyników eksperymentów symulacyjnych, wynikające głównie z mnogości uzyskanych w trakcie tych eksperymentów danych liczbowych. Bardzo często są one interesujące w swoich szczegółach dla prowadzącego te eksperymenty (często dlatego, że zna on doskonale pewne szczegóły zbudowanego modelu symulacyjnego), a niemożliwe do docenienia (i ocenienia) ich znaczenia dla osób „z zewnątrz”, zainteresowanych przede wszystkim problemami opisywanymi przez ten model.

- Problemy z optymalizacją. Symulacja jest bardzo dobra, aby znaleźć odpowiedzi na pytania typu: Co się stanie, jeśli...?, Ale jest to znacznie trudniejsze, aby odpowiedzieć na pytanie: Co jest najlepsze dla...?. W zasadzie w badaniach symulacyjnych możliwe jest znalezienie rozwiązań optymalnych (lub blisko optymalnych), ale wymaga to bardzo dużo pracy, jest czasochłonne i sporo kosztuje. Warto jednak podkreślić, że w większości praktycznych przypadków, koncentrowanie się na znalezieniu rozwiązań optymalnych jest iluzoryczne. Uzyskiwane w modelach analitycznych rozwiązania optymalne okazują się zwykle mało użyteczne, głównie dlatego, że założenia upraszczające poczynione przy budowie tych modeli (np. ograniczenie się do klasy modeli liniowych) czynią te wyniki nieprzystającymi do rzeczywistości. Modele analityczne pozwalają

na znalezienie optymalnego rozwiązania dla różnych wartości parametrów modelu, ale powinniśmy zawsze pamiętać o uproszczeniach dokonanych w trakcie budowy modeli analitycznych. Jeśli nasze wymagania (jako użytkowników tych modeli) nie są tak surowe i jesteśmy zadowoleni starając się znaleźć stosunkowo dobre rozwiązanie, symulacja jest wtedy bardzo pomocna.

- Dużą wadą podejścia symulacyjnego jest względnie długi czas wymagany do budowania, testowania i walidacji modeli. Zazwyczaj do uzyskania istotnych wyników symulacji potrzebnych do wyciągnięcia ostatecznych wniosków i propozycji działań w sferze praktyki wymagany jest duży nakład pracy.

- Nadużywanie symulacji – wspominamy o tej wadzie na końcu, ale wydaje się, że jest ona jedną z najważniejszych. Jeśli badania symulacyjne prowadzone są dla zewnętrznego użytkownika (oczekującego propozycji co do koniecznych do podjęcia działań w sferze praktyki), to bardzo łatwo jest przygotować ładnie wyglądający program, z bardzo wyrafinowanym interfejsem, ale w środku tego programu (modelu) symulacyjnego możemy znaleźć wiele niedopuszczalnych elementów, których ocena jest możliwa dopiero po dogłębnym zbadaniu struktury modelu i zastosowanych metod programowania komputerowego. Zleceniodawca (użytkownik zewnętrzny) najczęściej nie ma czasu i odpowiedniej wiedzy na dokonanie takiej oceny i w pełni ufa w tym zakresie osobom budującym model symulacyjny. W takim przypadku otrzymujemy bardzo ładnie wyglądające wyniki, których użyteczność może okazać się bardzo wątpliwa.

3. Różnorodność podejść symulacyjnych w analizie ekonomicznej

Wykorzystanie podejścia symulacji w analizie ekonomicznej wydaje się być jednym z najbardziej obiecujących dla dalszego jej rozwoju i dla lepszego zrozumienia procesów społecznych i gospodarczych. Jay W. Forrester (1971) w swojej klasycznej pracy mówi o tym, że systemy społeczne zachowują się często inaczej niż dyktuje to nam intuicja i wbrew naszym oczekiwaniom (*counterintuitive behaviour of social systems*). Podejście symulacyjne pozwala na zrozumienie tego typu nieoczekiwanego zachowania się systemów społecznych

(w tym gospodarczych). Jednocześnie dzięki używaniu tych modeli, wręcz można powiedzieć dzięki „bawieniu się tego typu modelami”, wypracować możemy w sobie pewne intuicje pozwalające na lepsze przewidywania przyszłych zachowań badanych systemów społecznych, jak i lepsze zrozumienie mechanizmów ich rozwoju.

Pewnym problemem na obecnym etapie rozwoju badań symulacyjnych jest mnogość stosowanych podejść i modeli. Używając często nadużywanego terminu, możemy powiedzieć o mnogości paradygmatów w badaniach symulacyjnych. Niestety nie mamy tutaj miejsca na dogłębne przedstawienie tego problemu, dlatego ograniczymy się jedynie do jego zasygnalizowania¹².

Wydaje się, że we współczesnym nurcie badań symulacyjnych odnoszącym się do analizy procesów gospodarczych wyróżnić można trzy podstawowe podejścia, mianowicie:

1. zakorzenione w tradycji schumpeterowskiej (zainicjowane w latach 70. ubiegłego wieku przez Richarda Nelsona i Sidney’a Wintera);

2. oparte na teorii agentowej (*ACE – Agent-based Computational Economics*);

3. oparte na *Dynamice Systemów* (zaproponowanej przez Jaya W. Forrestera w latach 50. ubiegłego wieku).

Poniżej bardzo krótko scharakteryzujemy te trzy podejścia (więcej na ten temat w Kwasnicki (2003; 2007) oraz w Kwasnicki (1998)).

Tradycja schumpeterowska

Pisząc o tradycji schumpeterowskiej zacząć należy od klasycznego już modelu zaproponowanego przez Nelsona i Wintera, który, jak sami autorzy to podkreślają, czerpie najbardziej z idei Josepha A. Schumpetera (chodzi głównie o rozumienie konkurencji pomiędzy firmami opartej na innowacjach). Nelson i Winter opracowali swój model w latach 70. ubiegłego wieku i przedstawili go w swojej książce z 1982 roku (Nelson i Winter 1982). Model Nelsona i Wintera (NW) uznawany jest często, jako swego rodzaju wzorzec dla budowania innych modeli ewolucyjnych. W modelu NW oraz w prawie wszystkich modelach w tej tradycji podstawową jednostką ewolucji jest (heterogeniczna)

¹² Przegląd stosowanych modeli symulacyjnych w analizie ekonomicznej znaleźć można np. w Safarzyńska i van den Bergh (2010) oraz w Kwasnicki (1999; 2003).

firma. W przeciwieństwie do teorii ortodoksyjnej w ekonomii ewolucyjnej nie korzysta się z marshallowskiego pojęcia „firmy reprezentacyjnej”. Wręcz przeciwnie, podkreśla się wagę różnorodności (heterogeniczności) konkurujących ze sobą firm. Firmy, których rozwój jest symulowany, wpływają na siebie przez sieć nieliniowych oddziaływań dynamicznych opisujących poszukiwanie innowacji, konkurencji (rynkowej selekcji) i inwestycji. W większości modeli symulacyjnych decyzje firm (agentów) nie są związane z ideą maksymalizacji (np. zysku), a ideą zadowolenia z osiągnięcia coraz to lepszych wyników. W modelach tych obecne są postulaty przedstawione przez Herberta Simona odnoszące się do koncepcji ograniczonej racjonalności (*bounded rationality*) oraz zadowolenia (*firms as satisfiers*). Uczenie się (zdobywanie nowej wiedzy) i poszukiwanie innowacji jest modelowane poprzez losowe mechanizmy mutacji oraz imitacji rutyn (procedur) stosowanych przez firmy w procesie produkcji. Mutacje modelowane są zazwyczaj przez lokalne, losowe zmiany w przestrzeni rutyn.

Winter (1984) przedstawia ciekawe rozszerzenie modelu NW. Analizuje on zachowanie się dwóch rodzajów firm, tych które chcą uzyskać swoją przewagę konkurencyjną poprzez poszukiwanie autonomicznych, oryginalnych innowacji oraz tych, które bazują głównie na naśladownictwie i rekombinacjach produktów istniejących na rynku (te dwa typy zachowań Sidney Winter nazywa reżimami: przedsiębiorczym i zrutynizowanym).

Z powodu ujętych w modelu czynników stochastycznych (związanych z procesem poszukiwania innowacji i imitacji) oraz nieliniowości równań produkcyjno-inwestycyjnych, nie jest możliwe znalezienie rozwiązań analitycznych modeli NW. Nie jest również możliwe, aby znaleźć stochastyczne właściwości tych procesów, jak na przykład średnie zachowanie się firm czy odchylenie standardowe produkcji firm. Jedynym sposobem na zbadanie tych modeli jest zastosowanie techniki komputerowej symulacji, losowego generowania liczb i uzyskanie szacunkowych wartości ogólnych cech stochastycznych oraz obserwowanie specyfiki rozwoju firm widocznej w pojedynczych (symulowanych) realizacjach procesu przemysłowego.

Rozwinięciem i uzupełnieniem podejścia zaproponowanego przez Nelsona i Wintera jest opracowana w ostatnich trzydziestu latach duża liczba modeli przez Jerry'ego Silverberga, Barta Verspajena, Giovanniego Dosi (i jego współpracowników) oraz Witolda i Halinę

Kwaśnickich (patrz np. Silverberg 1985; Silverberg i Lehnert 1993; Silverberg i Verspagen 1994; 1995; Chiaromonte i Dosi 1993; Dosi i in. 1994; Dosi i in. 1993; Kwasnicka i Kwasnicki 1992; Kwasnicki 1996).

Modelowanie agentowe (ACE)

Ten typ modelowania i symulacji w ekonomii jest ściśle związany z rozwijaną od lat 80. ubiegłego wieku chęcią zasymulowania rozwoju biologicznego (ewolucji) znanym jako „sztuczne życie” (*artificial life (alife)*). Jest to w ostatnich dekadach kwitnąca, multidyscyplinarna dziedzina badań, w której podejmuje się próby opracowania modeli matematycznych i symulacji komputerowych, w których naśladuje się rozwój populacji żywych organizmów, jak one rosną i ewoluują. Badacze zaangażowani w tego typu badania mają nadzieję, że dzięki temu zdobędziemy lepszy wgląd w naturę życia organicznego, pozwolą na lepsze zrozumienie pochodzenia procesów metabolicznych oraz pochodzenie życia. Termin „sztuczne życie” został wymyślony w 1980 roku przez Christophera Langtona, który zorganizował pierwsze warsztaty poświęcone tej problematyce w Santa Fe w 1987 roku. Nie oznacza to, że podobne badania, pod innymi nazwami, nie zostały wykonane wcześniej. W istocie, dwóch matematyków na początku lat 50. dwudziestego wieku zaproponowało bardzo podobne badania teoretyczne pod nazwą automatów samoreprodukujących się (lub automatów komórkowych; *self-replicating automata, cellular automata*). Byli to John von Neumann, węgierski matematyk i pionier informatyki oraz polski matematyk Stanisław Ulam. Ich zamiarem było zastosować tę podstawową koncepcję opartą na prostych regułach samoreplikacji do modelowania wzrostu, rozwoju i rozmnażania żywych stworzeń. Von Neumann i Ulam wykazali, że dzięki wykorzystaniu złożonego zestawu reguł, możliwe jest osiągnięcie początkowej konfiguracji komórek. W ten sposób uznali, że układ będzie sam się „reprodukował”. Tak rozumiane automaty komórkowe składają się z siatki komórek. Każda komórka charakteryzuje się szczególnymi wartościami, które można zmieniać w zależności od ustalonych zasad (reguł). Nową wartość komórki oblicza się na podstawie jej wartości bieżącej oraz wartości jej bezpośrednich sąsiadów. Wykazano, że takie automaty komórkowe naturalnie tworzą specyficzne wzory, a przede wszystkim mogą

się reprodukować oraz „umierać”.

Langton potraktował wyniki von Neumanna jako punkt wyjścia do zaprojektowania prostego systemu życia, którego rozwój może być symulowany na komputerze. W 1979 roku opracował „organizm”, którego rozwój wykazywał wiele cech obserwowanych u organizmów żywych. Zdaniem Langtona zachowanie tych form naśladowało rzeczywiste procesy życiowe mutacji i ewolucji.

Ekonomista Thomas Schelling był jednym z pierwszych badaczy, którzy w latach 70. dwudziestego wieku próbowali zastosować techniki sztucznego życia do symulacji procesów społecznych. Warto zauważyć, że Schelling nie korzystał z komputera, ale używał drobnych monet, które przesuwał na planszy zgodnie z wypracowanymi przez niego prostymi zasadami. W ten sposób stworzył sztuczny świat, i pokazał w jaki sposób nawet niewielkie preferencje agentów (modelowanych populacji osób – „mężczyzn i kobiet, czarnych i białych, francuskojęzycznych i anglojęzycznych, oficerów i marynarzy mężczyzn, studentów i wykładowców, surferów i pływaków, dobrze ubranych i źle ubranych, lub jakiegokolwiek dychotomicznego podziału danej populacji”) w ich zachowaniu mogą prowadzić do skrajnej segregacji (np. seksualnej, rasowej). Te swoje doświadczenia wykorzystał do napisania poczytnej książki o „mikromotywach i makrozachowaniach” (Schelling 1978). W 2005 roku Thomas Schelling uhonorowany został nagrodą im. Alfreda Nobla z ekonomii. Jego książka z 1978 roku uznawana jest za początek rozwoju metod ACE.

Podejście zwane „sztucznym życiem” nazywane jest często „modelowaniem agentowym” (*agent based modelling*) i traktowane jest zwykle jako alternatywa do klasycznego opisu za pomocą równań różniczkowych (różnicowych). Tradycyjnie, wzorując się na metodach stosowanych w fizyce klasycznej, biologii czy ekonomii, opisują zachowania populacji osobników biologicznych czy firm należących do gałęzi przemysłu, w postaci układu równań różniczkowych (jak to jest np. w przypadku równań Lotki-Volterra, typu drapieżca-ofiara, czy gospodarz-pasożyt, stosowanych zarówno do opisu procesów biologicznych jak i gospodarczych). W ramach ACE proponuje się podejście alternatywne i traktowanie firmy, czy osobnika biologicznego, jako agenta wyposażonego w pewne zdefiniowane przez badaczy reguły zachowania i obserwowanie jak cały system (zbiór firm, populacja osobników biologicznych) rozwija się w cza-

sie. Te dwa sposoby opisu rzeczywistości (równania różniczkowo-różnicowe i modelowanie agentowe) faktycznie różnią się zasadniczo, jednakże na obecnym etapie rozwoju badań trudno jest powiedzieć, który okaże się adekwatniejszy i zyska popularność wśród badaczy (tym bardziej, że metody symulacyjne oparte na równaniach różniczkowych też są intensywnie rozwijane – o czym będzie wspomniane w następnej sekcji, kiedy opisana zostanie *Dynamika Systemów*).

Recepta na stworzenie oprogramowania symulującego zachowanie się agentów jest dosyć prosta: przygotować środowisko, w którym „organizmy krzemowe” (agenci) mogą działać, stworzyć kilkaset takich agentów, aby „zaludnić” to środowisko i zdefiniować zestaw reguł które kierować będą zachowaniem się agentów. Następnie, wykorzystując odpowiednie języki programowania komputerowego, należy napisać program komputerowy, który umożliwi symulację zachowania się tej populacji agentów. Uruchamiając wielokrotnie ten program dla różnych ciągów zmiennych losowych, modyfikując też reguły zachowania, należy zebrać wyniki tych symulacji, poddać je analizie i próbować wyciągnąć pewne ogólne wnioski co do zachowania się całego systemu (populacji). To co szczególnie interesuje badaczy wykorzystujących metody ACE, to poszukiwanie pewnych nieoczekiwanych własności badanego systemu, zachowania badanego systemu niezgodnego z początkowymi intuicjami badaczy. Po angielsku te nieoczekiwane własności nazywane są *emergent properties*, po polsku tłumaczone niezbyt fortunnie jako „własności emergentne”. Podejście ACE może być podsumowane w postaci prostego równania: *Agenci* (elementy na poziomie mikro) + *Środowisko* + *Reguły zachowania* = *Sztuczne życie* (ACE, sztuczna gospodarka)¹³.

W 2005 roku zainicjowany został coroczny cykl konferencji (sympozjów) pod ogólnym tytułem *Artificial Economics* (<http://www.artificial-economics.org/>). Celem tych konferencji jest stworzenie okazji do spotkania dwóch społeczności naukowców (z informatyki i z ekonomii), przedstawienie i przedyskutowanie aktualnego stanu badań nad zastosowaniem podejścia agentowego (ACE) do analizy procesów gospodarczych. Pokłosem tych konferencji

¹³ „Rękę na pulsie” ACE trzyma Leigh Tesfatsion, która publikuje bieżące informacje na stronach:

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>;

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ACE0216.htm>;

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/amodguide.htm>.

są coroczne publikacje. Co roku zmienia się główny temat konferencji. Pierwsza konferencja poświęcona była omówieniu ogólnych problemów związanych z zastosowaniem podejścia agentowego do modelowania rynków finansowych, teorii gier (Mathieu i in. 2006), druga natomiast wymianie poglądów związanych modelowaniem gospodarki jako złożonego, dynamicznego systemu (Bruun i Charlotte 2006). Ostatnie dwie konferencje miały bardziej ogólne tytuły *Sztuczna ekonomia i samoorganizacja, Podejście agentowe w ekonomii i systemach społecznych* (Leitner i Wall 2014) oraz *Postępy w sztucznej ekonomii* (Amblard i in. 2015).

Podejście agentowe w ekonomii umożliwia badanie interakcji między podmiotami gospodarczymi, które początkowo nie mają zbyt wielkiej wiedzy o środowisku w którym funkcjonują, ale które potrafią się uczyć. Pozwala to na badanie tego, jakie minimalne warunki sprzyjają powstaniu różnego rodzaju rynków, instytucji czy technologii, jak podmioty gospodarcze ewoluują w kierunku współpracy, koordynują wzajemne działania, jak pojawiają się różne struktury gospodarcze. Przykładem takiego podejścia jest praca Ramon Marimona, Ellen McGrattana, Thomasa J. Sargenta (1990), którzy pokazali, jak pojawiły się handel i pieniądz. Chyba najślawniejszym ośrodkiem, w którym modelowanie i symulacje agentowe są rozwijane jest Instytut Santa Fe (tutaj należy wymienić zwłaszcza pionierów tego typu badań, takich jak Brian Arthur, John Holland, Richard Palmer i Paul Taylor). Jednym z nurtów rozwijanych tam badań jest modelowanie sztucznych rynków akcji (a jedną z pierwszych prac tego typu była praca Taylora 1995), podsumowanie tych wieloletnich wysiłków można znaleźć w książce Normana Ehrentreicha, *Agent-Based Modeling. The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited* (Ehrentreich 2008).

Jedną z wczesnych, interesujących aplikacji ACE jest opracowaną przez Joshua Epsteina i Roberta Axtella *Sugerscape*. Ich model reprezentuje naturalne, oddolne podejście do analizowania wzorców zachowań populacji agentów, które wyłaniają się z interakcji jednostek (agentów). Podsumowali oni swoje modele i przedstawili wyniki symulacji w Epstein i Axtell (1996)¹⁴.

Podstawowe założenia modelu *Sugerscape* są raczej proste. Autorzy stworzyli siatkę 50 na 50 kwadratów. Każdy kwadrat zawiera od

¹⁴ <http://sugarscape.sourceforge.net/sugarscape.html>.

zera do czterech jednostek „cukru”, traktowany jako zasób potrzebny do dalszego rozwoju każdego z agentów. Siatka jest zamieszkała przez kilkuset agentów reprezentowanych przez kropki. Stworzenia (agenci) zużywają od jednego do trzech sztuk cukru w trakcie pojedynczej iteracji. Każdy agent rodzi się z tym samym metabolizmem wymagającym cukru, ale każdy ma kilka innych specyficznych cech, takich jak wizualny zakres wykrywania pożywienia (cukru). Agenci mogą wykryć istnienie cukru w odległości od dwóch do czterech kwadratów od bieżącego położenia agenta we wszystkich kierunkach i mogą oni poruszać się tak daleko, jak widzą. Na komputerze agenci widoczni są na ekranie jako kolorowe kropki umieszczone w odpowiednich kwadratach siatki. Cukier jest pokazany jako żółte kopki, które znikają w miarę jak agenci (kropki) zjadają cukier, ale są odtworzone w miarę gdy są pozostawione w spokoju (nie są okupowane przez agentów).

W każdym „roku” (iteracji) agenci rozpatrywani są w losowej kolejności, a kiedy przychodzi kolej na danego agenta to porusza się on od kwadratu bieżącego położenia do innego kwadratu według prostej zasady: rozejrzeć się w miarę swoich możliwości wizyjnych, znaleźć nieokupowany przez innego agenta kwadrat o największej ilości cukru i przejść tam by go jeść (w tempie określonym przez metabolizm danego agenta). W różnych wersjach tego modelu agenci mogą być wyposażeni w reguły odnoszące się do płci, możliwości podjęcia walki, handlu (wymiany), zarażenia chorobą, dziedzieleniem, itp. W każdej chwili, czynniki oddziałujące różnią się pod względem wieku, kultury, bogactwa, możliwości postrzegania, układu immunologicznego, itp. W odróżnieniu od standardowych modeli bazujących na koncepcji „reprezentatywnego agenta”, sztuczne społeczeństwa są niejednorodne i pełne różnorodności.

Sugerscape może mieć postać krajobrazu z wieloma szczytami. Jeśli istnieją dwa szczyty (o dużej zawartości cukru), jak było założone w większości symulacji, początkowo losowo rozproszeni agenci szybko dążą ku dwóm szczytom cukru. Okazuje się, że w wielu eksperymentach kilku agentów mogło gromadzić duże zapasy cukru, budując swego rodzaju osobiste bogactwo. Agentom o krótkim widzeniu i niskim wskaźniku metabolizmu udaje się przetrwać, często „na granicy egzystencji”. Okazuje się, że takie proste reguły wymuszają istnienie silnie skośnych rozkładów bogactwa, powszechnie obserwowanych w społeczeństwach ludzkich – gdy kilka osób po-

siada większość bogactwa, a większość ludności żyje we względnym ubóstwie.

Sugerscape umożliwia również wgląd w takie zjawiska jak pojawienie się handlu. W tym przypadku, krajobraz zawiera dwa dobra: cukier i przyprawy. Agenci są tak zaprogramowani, że mają różne tempo metabolizmu lub preferencji, dla każdego z dwóch dóbr. Umierają jeśli ich cukier lub ich przechowywane przyprawy spadają do zera. Matematyczna formuła zwana funkcją dobrostanu pozwala dla każdego agenta obliczyć, jak blisko są oni stanowi głodu przy różnych zawartościach cukru lub przypraw. By przeżyć agenci mogą dokonywać wymiany z innymi agentami (cukru lub przypraw). Pozwala to na zbadanie, jakie warunki potrzebne są do tego by pojawił się handel.

Wydaje się, że model *Sugerscape* jest w stanie wyjaśnić takie stylizowane fakty jak tworzenie się kulturowo odrębnych grup, czy pojawienie ukośnych rozkładów majątku. Thomas Schelling zaznacza, że takie modelowanie oparte na agentach pokazuje, że nawet skomplikowane normy społeczne mogą wynikać z bardzo prymitywnego zachowania się pojedynczych agentów. Warto jednak powiedzieć, że autorzy są świadomi tego, że ich model *Sugerscape* jest raczej metaforą niż realistycznym przedstawieniem społeczeństwa.

Dynamika Systemów

Opracowana przez Jay W. Forrester'a w MIT (*Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology*) w latach 50. ubiegłego wieku *Dynamika Systemów* (*System Dynamics*) odgrywa istotną rolę, zarówno jako narzędzie badawcze, jak i narzędzie dydaktyczne (Kwasnicki 1998). *Dynamika Systemów* niejako w naturalny sposób umożliwia próbę zrozumienia dlaczego pewne cele, kryteria postawione przed zarządzającymi nie zostały (lub właśnie zostały) osiągnięte, jaka struktura organizacji uniemożliwia sukces, a jaka sprzyja jego osiągnięciu. Istotą podejścia zaproponowanego przez Forrester'a jest myślenie o dynamice systemu w kategoriach pętli sprzężeń zwrotnych. *Dynamika Systemów* stała się dosyć popularnym narzędziem nie tylko w Stanach Zjednoczonych, ale także w Europie, Azji i Australii.

Źródłem podejścia zaproponowanego przez Forrester'a należy szukać w metodzie kształcenia w zakresie zarządzania opartej na analizie przypadków (*case-study*) i zastosowanej po raz pierwszy w 1910 roku

w *Harvard Business School*. Kolejne inspiracje tej metody pochodzą z rozwiniętej w latach trzydziestych i czterdziestych obecnego stulecia przez inżynierów z *Bell Telephone Laboratories* i MIT koncepcji systemów ze sprzężeniem zwrotnym. Naturalnie metoda czerpiąca wiele z idei symulacji (czyli swego rodzaju naśladowania) systemów rzeczywistych przez twory sztuczne (jakim są modele) nie byłaby możliwa bez szybkiego rozwoju komputerów jako narzędzia symulacji. Modele systemów społecznych i gospodarczych są zwykle zbyt skomplikowane by poddać je czystej analizie matematycznej.

Dynamika Systemów łączona jest często z szerszym pojęciem tzw. myślenia systemowego, czyli widzeniem rozwoju procesu jako całości z uwzględnieniem możliwie dużej liczby wzajemnych wpływów wszystkich elementów składowych systemu. W istocie nazwa *Dynamika Systemów* jest trochę myląca i nie jest w pełni adekwatna do metody budowy modeli i ich symulacji zaproponowanej przez Forreстера. Kiedy w 1985 roku programiści z *High Performance Systems* byli gotowi wypuścić na rynek pierwszą wersję programu umożliwiającego modelowanie za pomocą podejścia Forreстера, znanego później jako STELLA¹⁵, stanęli przed problemem jak go nazwać. Barry Richmond, *HPS's Managing Director*, zaproponował akronim STELLA oznaczający *Structural Thinking, Experimental Learning Laboratory with Animation*, czyli „Myślenie strukturalne, Laboratorium uczenia się poprzez eksperymenty i animację”. W dużym stopniu określenie „Myślenie strukturalne” oddaje istotę podejścia forresterowskiego. Inną cechą jest myślenie w kategoriach przyczynowo-skutkowych i w kategoriach zamkniętych pętli oddziaływań. W następnej kolejności idzie myślenie operacyjne – jak przekształcić stworzone w pierwszym, koncepcyjnym podejściu pętle wzajemnych oddziaływań na dający się symulować model? Forrester zaproponował by przedstawić je w kategoriach połączonych pętli sprzężenia zwrotnego składających się z poziomów (reprezentujących to co w matematyce nazywa się zmiennymi stanu) oraz przepływów (czyli pochodnych). Ta właśnie próba rozumienia zachowania się systemu poprzez analizę systemu sprzężeń zwrotnych jest istotą *Dynamiki Systemów*. Forrester często pisał, że pozwolenie na współgranie wielu pętli sprzężenia zwrotnego powoduje często sprzeczne z intuicją (z oczekiwaniami) zachowanie się systemu.

¹⁵ <http://www.iseesystems.com>.

Modelowanie w DS zaczyna się zwykle od narysowania diagramów przyczynowo-skutkowych (*causal-loop diagrams*) przedstawiających ogólną strukturę i zależności modelu. Jak można oczekiwać, niektóre z oddziaływań w diagramach przyczynowo-skutkowych mają charakter działań arytmetycznych (dodawanie, mnożenie, odejmowanie, dzielenie) niektóre jednak mają charakter zmian kumulatywnych, tak jak np. wielkość kapitału, płace, liczba ludności. Zmienne kumulatywne nazywane są w dynamice systemów poziomami, w odróżnieniu od drugiego rodzaju zmiennych opisujących szybkości przepływów (tzw. strumienie). Dlatego w dalszym etapie prac podejmowana jest próba opisu systemu w kategoriach poziomów i przepływów (szybkości zmian) tworząc w ten sposób tzw. diagramy przepływowe. Diagramy przepływowe są naturalną reprezentacją systemów i mają ułatwić użytkownikowi przeniesienie jego intuicyjnego wyobrażenia o funkcjonowaniu systemu na model komputerowy bez posługiwania się jakimkolwiek zaawansowanym aparatem matematycznym. Diagramy przepływowe reprezentują swego rodzaju zbiorniki z dopływami i odpływami, przypominają system hydrauliczny ze zbiornikami, wannami, kurkami, rurami przepływowymi, itp.

Dużym ułatwieniem programowania przy pomocy współczesnych pakietów symulacyjnych (jak np. w STELLI) jest możliwość budowy modelu w trybie graficznym przy użyciu myszki i minimalizacja korzystania z klawiatury. Diagram przepływowy budujemy z czterech podstawowych elementów („klocków”): *prostokąt*, dla oznaczenia zmiennej określanej nazwą „poziomu” (zmiennej kumulatywnej), *symbol kurka (kranu)*, określający przepływ, strumień (będący odpowiednikiem pochodnej), *koło* na oznaczenie zmiennej pomocniczej (która może służyć do określania parametrów modelu, jak i zależności pomocniczych opisujących system, np. „wpływ pracy na płacę” czy „praca pożądana”), oraz *strzałka*, do zaznaczania oddziaływań pomiędzy poszczególnymi zmiennymi w modelu, (reprezentowanymi przez trzy wspomniane symbole), czyli do określenia struktury modelu. Diagram przepływowy budujemy biorąc odpowiednie „klocki” (prostokąt, kurek, kółko, strzałkę) z menu i „przenosząc” go w odpowiednie miejsce na ekranie. Każdy współczesny pakiet symulacyjny SD (w tym STELLA) ma duże możliwości przedstawiania wyników symulacji w postaci wykresów, tabel i na tzw. displayach (pokazujących bieżące wartości niektórych zmiennych w trakcie symulacji).

To przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów zbudowano Model Świata, będącego przedmiotem analizy w sławnym Pierwszym Raporcie dla Klubu Rzymskiego, opublikowanym w 1972 roku pod tytułem *Granice wzrostu*.

4. Uwagi końcowe

Symulacja wydaje się być jedną z najbardziej obiecujących technik analizy procesów społecznych, w tym gospodarczych. Naśladowanie rzeczywistości, wykorzystanie analogii, metafor są podstawowymi cechami podejścia symulacyjnego. Dlatego symulacja komputerowa nie powinna być rozumiana jako prosta metoda wykorzystywania komputerów do wykonywania obliczeń. Funkcja naśladownictwa jest obecna w podejściu metodologicznym wszystkich trzech technik symulacji opisanych w tym artykule, tradycji schumpeterowskiej, modelowaniu agentowym (ACE) i *Dynamice Systemów*. Warto jednak podkreślić, że na obecnym etapie rozwoju modelowania agentowego (ACE) jest jedna cecha wyraźnie odmienna od dwóch pozostałych technik. Mianowicie w tradycji schumpeterowskiej i *Dynamice Systemów* obecna jest bardziej realistyczna koncepcja czasu. W większości symulacji (schumpeterowskiej i *Dynamice Systemów*) istnieje jasny związek pomiędzy czasem w modelach symulacyjnych i czasem rzeczywistym. Modele ACE zawierają zwykle arbitralne jednostki czasu i zwykle jest niezmiernie trudno powiązać dynamikę zmian w tych modelach z rzeczywistym upływem czasu. Wydaje się, że jest to istotna różnica, która powinna wymusić na zwolennikach ACE przemyślenie tego problemu i wypracowanie metody przełożenia czasu w modelach ACE na realną dynamikę procesów gospodarczych.

Symulacja jest bardzo skutecznym narzędziem badania rzeczywistości. Warto jednak być świadomym jej ograniczeń i traktować symulację jako narzędzie służebne w stosunku do celu nadrzędnego, jakim jest chęć zrozumienia otaczającej nas rzeczywistości i budowy ogólnych teorii.

Bibliografia

- Amblard F., Miguel F.J., Blanchet A., Gaudou B., eds., *Advances in Artificial Economics*, Springer International Publishing Switzerland, Cham – Heidelberg 2015.
- Badham J., *Functionality, Accuracy, and Feasibility: Talking with Modelers*, „Journal on Policy and Complex Systems” 2015, vol. 1(2).
- Billari F.C., Fent Th., Prskawetz A., Scheffran J. eds., *Agent-Based Computational Modelling Applications in Demography, Social, Economic and Environmental Sciences*, Physica-Verlag, Heidelberg 2006.
- Blaug M., *Teoria ekonomii. Ujęcie retrospektywne*, tłum. I. Budzyńska, PWE, Warszawa 1994.
- Bruun Ch., ed., *Advances in Artificial Economics. The Economy as a Complex Dynamic System*, Springer International Publishing, Berlin – Heidelberg – New York 2006.
- Chiaromonte F., Dosi G., *Heterogeneity, Competition, and Macroeconomic Dynamics*, „Structural Change and Economic Dynamics” 1993, vol. 4.
- Dosi G., Fabiani S., Aversi R., Meacci M., *The Dynamics of International Differentiation: A Multi-Country Evolutionary Model*, „Industrial and Corporate Change” 1994, vol. 2(3).
- Dosi G., Marsili O., Orsenigo L., Salvatore R., *Learning, Market Selection and the Evolution of Industrial Structures*, Center for Research in Management, University of California at Berkeley, „CCC Working Paper” 1993, no. 93–99.
- Ehrentreich N., *Agent-Based Modeling. The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited*, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg 2008.
- Epstein J.M., Axtell R., *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Brookings Institution Press/MIT Press, Washington 1996.
- Forrester J.W., *Counterintuitive Behavior of Social Systems*, „Technology Review” 1971, January.
- Gilbert N., Troitzsch K.G., *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press, Maidenhead 2005.
- Hamill L., Gilbert N., *Agent-Based Modelling in Economics*, John Wiley & Sons, Hoboken, N.J. 2016.
- Hardy G.H., *A Mathematician's Apology*, Cambridge University Press, Cambridge 1967.
- Kaldor N., *Capital Accumulation and Economic Growth*, [in:] *The Theory of Capital*, ed. F. Lutz, Macmillan, London 1961.

- Klaus G. Troitzsch, *Simulation as a Tool to Model Stochastic Processes in Complex Systems* [in:] *Computational Techniques for Modelling Learning in Economics*, ed. Th. Brenner, Kluwer Academic Publisher, Boston – Dordrecht – London 1999.
- Kwasnicka H., Kwasnicki W., *Market, Innovation, Competition: an evolutionary model of industrial dynamics*, „Journal of Economic Behavior and Organization” 1992, vol. 19.
- Kwasnicki W., *Evolutionary Economics and Simulation*, [in:] *Computational Techniques for Modelling Learning in Economics*, ed. Th. Brenner, Kluwer Academic Publisher, Boston – Dordrecht – London 1999.
- Kwasnicki W., *Evolutionary Models’ Comparative Analysis. Methodology Proposition Based on Selected Neo-Schumpeterian Models of Industrial Dynamics*, „The ICFAI Journal of Managerial Economics” 2003, vol. 1 (2), November 2003.
- Kwasnicki W., *Schumpeterian Modelling*, [in:] *The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, eds. H. Hanusch, A. Pyka, Edward Elgar Publishing, London 2007.
- Kwasnicki W., *Knowledge, Innovation, and Economy: an Evolutionary Exploration*, Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham – Brookfield 1996.
- Kwaśnicki W., *Dynamika systemów jako metoda nauczania*, [w:] *Symulacja komputerowa w nauczaniu ekonomii*, red. E. Radosiński, Polskie Towarzystwo Symulologiczne, Wrocław – Kraków – Gliwice 1998.
- Leitner S., Wall F., eds., *Artificial Economics and Self Organization, Agent-Based Approaches to Economics and Social Systems*, Springer International Publishing Switzerland, Cham – Heidelberg 2014.
- Marimon R., McGrattan E., Sargent T., *Money as a Medium of Exchange in an Economy with Artificial Intelligent Agents*, „Journal of Economic Dynamics Control” 1990, vol. 14.
- Marshall A., *Principles of Economics*, Palgrave Classics in Economics, Palgrave 2013.
- Macmillan M.Ph., Beaufils B., Brandouy O. (eds.), *Artificial Economics. Agent-Based Methods in Finance, Game Theory and Their Applications*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2006.
- Mirowski Ph., *More Heat than Light: Economics as Social Physics: Physics as Nature’s Economics*. Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- Morgan M.S., *The World in the Model: How Economists Work and Think*, Cambridge University Press, New York 2012.

- Nelson, R.R., Winter, S.G., *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Belknap Press, Cambridge, Mass. – London 1982.
- Poincaré H., *Science and Hypothesis*, The Walter Scott Publishing, New York 1905.
- Polanyi M., *Personal Knowledge. Towards Post-critical Philosophy*, Routledge & Kegan Paul, London 1962 .
- Safarzyńska K., van den Bergh J.C.J.M., *Evolutionary Models in Economics: a Survey of Methods and Building Blocks*, „Journal of Evolutionary Economics” 2010, vol. 20(3).
- Schelling Th.C., *Micromotives and Macrobehavior*, Norton, New York 1978.
- Silverberg G., Lehnert D., *Long Waves and ‘Evolutionary Chaos’ in a Simple Schumpeterian Model of Embodied Technical Change*, „Structural Change and Economic Dynamics” 1993, vol. 4.
- Silverberg G., Verspagen B., *An Evolutionary Model of Long Term Cyclical variations of Catching Up and Falling Behind*, IIASA Working paper WP-95-09, 1995.
- Silverberg G., .Verspagen B., *Economic Dynamics and Behavioral Adaptation: An Application to an Evolutionary Endogenous Growth Model*, IIASA Working paper, WP-94-84, 1995.
- Silverberg G., *Technical Progress, Capital Accumulation and Effective Demand: A Self-organisation Model*, [in:] *Economic Evolution and Structural Change*, ed. D. Batten, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg–New York 1985.
- Taylor P., *Modelling Artificial Stock markets Using Genetic Algorithms*, [in:] *Intelligent Systems for Finance and Business*, ed. S. Goonatilake, Ph. Treleaven, Wiley, New York 1995.
- The Correspondence of Alfred Marshall, Economist, Volume 3. Towards the Close, 1903–1924*, A Royal Economic Society Publication, ed. J.K. Whitaker, Cambridge University Press, Cambridge 1996.
- Whitehead A.N., *Adventures of Ideas*, Macmillan Company, New York 1933.
- Winter S.G., *Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes*, „Journal of Economic Behavior and Organization” 1984, vol. 5.

O Autorach

- Joanna Dzionek-Kozłowska**, dr, pracownik Wydziału Ekonomiczno-Socjologicznego na Uniwersytecie Łódzkim; zainteresowania naukowe koncentrują się wokół historii i filozofii ekonomii oraz etycznych aspektów życia gospodarczego; redaktor czasopisma „Annales. Etyka w Życiu Gospodarczym”; opublikowała m.in. *System ekonomiczno-społeczny Alfreda Marshalla* (2007) oraz monografię *Ethics in Economic Thought* (2015) [współautor: Rafał Matera].
- Wojciech Giza**, dr hab., zatrudniony w Katedrze Historii Myśli Ekonomicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Prowadzi badania z zakresu historii myśli ekonomicznej i teorii ekonomii. W szczególności zajmuje się rozwojem teorii neoklasycznej, ordoliberalizmem oraz metodologią ekonomii; opublikował m.in. *Zawodność rynku. Powstanie i rozwój idei* (2013).
- Marcin Gorazda**, dr filozofii i prawnik. Prowadzi badania w zakresie filozofii ekonomii w ramach Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych w Krakowie. Autor *Filozofii ekonomii* (2013). Wykonuje zawód adwokata, specjalizując się w zakresie prawa podatkowego, z którego prowadzi wykłady dla aplikantów adwokackich Izby Adwokackiej w Krakowie. Prowadzi też badania w zakresie teorii prawa przy Katedrze Filozofii Prawa i Etyki Prawniczej, Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Łukasz Hardt**, dr hab., pracuje na Wydziale Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie kieruje Katedrą Ekonomii Politycznej; prowadzi badania w zakresie filozofii ekonomii, w szczególności studia nad modelami i statusem praw ekonomicznych; opublikował m.in. *Studia z realistycznej filozofii ekonomii* (2013).
- Paweł Kawalec**, profesor nadzwyczajny KUL, Katedra Teorii Poznania. Przewodniczący Komitetu Naukoznawstwa PAN. Członek grupy eksperckiej Komisji Europejskiej „Horizon 2020 Expert Group Green Growth and Jobs”, Redaktor Naczelny „Zagadnień Naukoznawstwa”, Fellow of the Center for Philosophy of Science (Pittsburgh, USA). Organizator międzynarodowych wykładów (2011–2015) Social Responsibility and Science in Innovation Economy. Autor publikacji poświę-

conych metodologii nauk, teorii innowacji, metodom bayesowskim, epistemologii i wczesnej filozofii analitycznej (zwł. R. Carnap). Laureat nagród: FNP (1999; 2004) oraz Premiera RP (2001). Aktualnie przygotowuje monografię poświęconą normatywnemu dociekaniu związku między teorią wiedzy naukowej a teoriami rozwoju gospodarczego i innowacji.

Ryszard Kowalski, dr, pracuje w Katedrze Mikroekonomii na Wydziale Ekonomii i Stosunków Międzynarodowych Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie; jego zainteresowania badawcze koncentrują się wokół koncepcji państwa dobrobytu, ekonomii dobrobytu, sprawiedliwości ekonomicznej, a także problematyki ubóstwa i nierówności społecznych.

Tomasz Kwarciański, dr filozofii, mgr ekonomii, adiunkt w Katedrze Filozofii na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie. Prowadzi badania w zakresie filozofii ekonomii, filozofii społecznej oraz etyki. Interesuje się w szczególności problemem interpersonalnych porównań użyteczności, koncepcjami sprawiedliwości dystrybutywnej i teoriami dobrobytu. Opublikował książkę *Równość i korzyść. Amartyi Kumar Sena koncepcja sprawiedliwości dystrybutywnej* (2011).

Witold Kwaśnicki, prof. zw., pracuje w Instytucie Nauk Ekonomicznych na Wydziale Prawa, Administracji i Ekonomii Uniwersytetu Wrocławskiego (jest kierownikiem Zakładu Ogólnej Teorii Ekonomii); zainteresowania badawcze to ekonomia ewolucyjna, procesy innowacyjne, teoria wzrostu gospodarczego, historia myśli ekonomicznej; inżynier i ekonomista z wykształcenia, liberał i „wolnorynko- wiec” z przekonania.

Uskali Mäki, prof. filozofii, członek Academy of Finland, pracownik Uniwersytetu Helsińskiego, dyrektor Academy of Finland Centre of Excellence in the Philosophy of the Social Sciences. Zainteresowania naukowe: filozofia nauki, filozofia ekonomii, modele w ekonomii, realizm naukowy, interdyscyplinarność, metodologia ekonomii, społeczne studia nad nauką, ontologia społeczna, retoryka w badaniach naukowych. Opublikował m.in. *Fact and Fiction in Economics. Realism, Models, and Social Construction* (2009), *Handbook of the Philosophy of Science: Philosophy of Economics* (2012).

Andrzej Malawski, prof. zw., pracuje na Wydziale Finansów Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, gdzie kieruje Katedrą Matematyki; główne obszary badań obejmują ekonomię matematyczną, w szczególności aksjomatyzację teorii rozwoju gospodarczego Schumpetera,

a także metodologię ekonomii; opublikował m.in. monografię *Metoda aksjomatyczna w ekonomii* (1999).

Robert Mróz, mgr, doktorant w Katedrze Ekonomii Politycznej Wydziału Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego. Prowadzi badania nad wnioskowaniami i wyjaśnieniami przyczynowymi w ekonomii i ekonometrii.

Krzystian Mucha, mgr, asystent w Katedrze Makroekonomii na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie; jego zainteresowania skupiają się na alternatywnych dla bezpośredniego celu inflacyjnego strategiach polityki pieniężnej, a także na roli i statusie praw w ekonomii.

Krzysztof Nowak-Posadzy, dr, adiunkt w Instytucie Filozofii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; jego zainteresowania badawcze obejmują filozofię ekonomii oraz ekonomię nauki; opublikował m.in. *Status pojęcia pracy w teorii krytycznej i teorii ekonomii* (2011).

Bartosz Scheuer, dr ekonomii, pracuje w Centrum Doskonałości dla Zrównoważonego Rozwoju we Wrocławiu, zajmuje się filozofią i metodologią ekonomii, najważniejszą opublikowaną jego pracą jest: *Metodologia ekonomii w perspektywie konstruktywistycznej* (2015).

Agnieszka Wincewicz-Price, absolwentka Szkoły Głównej Handlowej, Newcastle University i Erasmus Universiteit (Erasmus Institute for Philosophy and Economics); doktorantka wydziału nauk politycznych uniwersytetu w Newcastle upon Tyne, gdzie przygotowuje rozprawę doktorską dotyczącą normatywnych i metodologicznych aspektów kształtowania i zmienności preferencji.

Wojciech Załuski, prof. dr hab., pracuje w Katedrze Filozofii Prawa i Etyki Prawniczej na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Jagiellońskiego, specjalizuje się w filozofii prawa, etyce i teorii racjonalnego wyboru; opublikował m.in. monografie *Evolutionary Theory and Legal Philosophy* (2009) oraz *Game Theory in Jurisprudence* (2014).