

Witold Kwaśnicki

**DYNAMIKA SYSTEMÓW JAKO METODA NAUCZANIA**

**artykuł ukazał się w**

***Symulacja komputerowa w nauczaniu ekonomii***  
**pod red. Edwarda Radosińskiego**  
**Polskie Towarzystwo Symulologiczne, 1998**

W artykule przedstawiono krótki opis, zaproponowanej w latach 1960. przez Jay F. Forrester, metodologii budowy modeli symulacyjnych znanej jako *Dynamika Systemów*. *Dynamika Systemów* jest częstym narzędziem badawczym w naukach społecznych (ekonomia, zarządzanie, socjologia) oraz w naukach przyrodniczych (biologia, fizyka). Doświadczenia ostatnich kilkunastu lat pokazują jednak, że może być ona także skutecznym narzędziem w procesie dydaktycznym na poziomie uniwersyteckim i w szkołach średnich. Celem niniejszego artykułu jest pokazanie możliwości wykorzystania *Dynamiki Systemów* w nauczaniu.

Podejście znane obecnie pod nazwą *Dynamika Systemów* opracowane zostało pod koniec lat pięćdziesiątych w *Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology* przez Jay W. Forrester. *Sloan School of Management* powstała w 1952 roku dzięki finansowemu wsparciu Alfreda Sloana.<sup>1</sup> Pracując nad artykułem *Industrial Dynamics—A Major Breakthrough for Decision Makers*, który ukazał się w 1958 roku w *Harvard Business Review*, Forrester potrzebował dokonać wielu symulacji komputerowych. Poprosił o pomoc doskonałego programistę Richarda Beneta. Benet widząc, że modele Forrestera reprezentują podobne układy równań różniczkowych zaproponował by zamiast kodować każdy układ z osobna napisze kompilator, który automatycznie będzie tworzył kod komputerowy dla rozwiązania danego układu równań. Ten pierwszy kompilator nazwał SIMPLE – *Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations* czyli ‘Symulacja problemów zarządzania

---

<sup>1</sup> Sloan oczekiwał, że pieniądze przeznaczone na rozwój szkoły zarządzania w MIT, gdzie z definicji dominowało podejście pragmatyczne i technologiczne, spożytkowane zostaną w zasadniczo odmienny sposób niż miałyby to miejsce w środowiskach Harvardu, Columbia University czy Chicago, zdominowanych przez humanistów. Z perspektywy prawie półwiecza rozwoju *Sloan School of Management*, wydaje się, że eksperyment powiódł się i był wart 10 milionów dolarów wyłożonych przez Alfreda Sloana w jej rozwój.

przemysłem przy wykorzystaniu dużej liczby równań'. Ta propozycja Beneta otworzyła drogę do stworzenia bardzo popularnego w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych języka symulacji znanego pod nazwą DYNAMO. Artykuł Forrestera z 1958 roku został zawarty (jako rozdział drugi) w pierwszej, bardzo ważnej, z punktu widzenia rozwoju symulacji modeli opisujących problemy zarządzania i problemy gospodarcze, książce Forrestera z 1961 roku *Industrial Dynamics* (Dynamika przemysłu).

W 1968 roku, z kilkumiesięczną wizytą w MIT przebywał prof. Gert von Kortzfleisch z Uniwersytetu w Mannheim. Zapoznał się on z podejściem Forrestera i po powrocie rozpropagował je na swoim Uniwersytecie w Niemczech. Dzięki temu powstał drugi ważny ośrodek rozwijający metodologię zaproponowaną przez Forrestera.

W 1968 roku John F. Collins, będąc przez osiem lat burmistrzem Bostonu nie zdecydował się na ponowną reelekcję. MIT zaproponował mu jednoroczny kontrakt jako *Visiting Professor of Urban Affairs*. Dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności pokój Collinsa znalazł się tuż obok pokoju Forrestera. Podczas ich dyskusji wielokrotnie poruszali problemy urbanizacji (z którymi Collins parł się przez 8 lat swojego burmistrzowania). Po długich dyskusjach z Collinsem Forrester doszedł do przekonania, że wiele problemów z którymi borykał się Collins może być zbadanych przy wykorzystaniu podejścia zaproponowanego w *Industrial Dynamics*. Zasugerował Collinsowi by połączyć jego doświadczenie urbanistyczne z jego doświadczeniem w modelowaniu i spróbować zmierzyć się z problemami urbanizacji. Zorganizowali grupę osób znających problemy urbanizacji, która regularnie spotykała się w środowisku popołudnia przez rok. Uczestnicy tych spotkań dyskutowali oraz sugerowali kierunki prac nad modelowaniem procesów związanych z urbanizacją. Efektem tego rocznego wysiłku była kolejna ważna i popularna książka Forrestera *Urban*

*Dynamics*. Rok 1968 można zatem uznać za kolejny przełom w rozwoju Dynamiki Systemów, poszerzenie zakresu zastosowań tego podejścia z problemów zarządzania przemysłem do szerszej klasy problemów społecznych.

Z kolei *Urban Dynamics* otworzyła drogę do zbudowania dynamicznego modelu rozwoju gospodarki narodowej, opublikowanego w książkach *World Dynamics* oraz *Limits to Growth*. Książki te powstały dzięki kontaktom Forrestera z utworzonym w 1970 roku przez Aurelio Peccei, Klubem Rzymskim. W czerwcu 1971 roku opublikowana została *World Dynamics*, a dziewięć miesięcy później *Limits to Growth* (Meadows, et al., 1972),<sup>2</sup> znany także jako pierwszy raport Klubu Rzymskiego. Obie książki, a zwłaszcza *Granice Wzrostu*, stały się zaczynem długiej dyskusji w latach siedemdziesiątych o długookresowych perspektywach rozwoju świata. Wydaje się, że właśnie opublikowanie *Granice wzrostu*, napisanych bardziej popularnym językiem aniżeli *World Dynamics*, przyczyniły się do dużej popularności podejścia Forrestera do badania systemów społecznych, w tym i gospodarczych.

Istotą podejścia zaproponowanego przez Forrestera jest myślenie o dynamice systemu w kategoriach pętli sprzężenia zwrotnego (ang. *feedback*, które to określenie spopularyzowane zostało przez Norberta Wienera w *Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie* z 1948 roku). Dynamika Systemów, rozwijana od ponad 35 lat, stała się dosyć popularnym narzędziem nie tylko w Stanach Zjednoczonych, ale także w Europie, Azji i Australii. Dynamika Systemów łączy w sobie teorię, metody i pewne podstawy filozoficzne potrzebne do analizowania

---

<sup>2</sup> *Granice wzrostu* pokazują wzajemne zależności i oddziaływania pomiędzy procesami demograficznymi, rozwojem przemysłu, stanem środowiska naturalnego i wyżywieniem. Książka ta została ostatnio uaktualniona i opublikowana jako *Beyond the Limits* (Meadows, et al., 1992).

systemów zarządzania, ale nie tylko. Znanych jest wiele zastosowań tego podejścia do modelowania systemów ekologicznych, politycznych, gospodarczych, medycznych oraz technicznych. Dynamika Systemów daje ogólne możliwości i generalne podstawy do zrozumienia i zbadania wzajemnych wpływów w systemach społecznych oraz określenia charakteru zmian w obrębie badanego systemu w czasie. Zawsze w podejściu zaproponowanym przez Dynamikę Systemów zaczynamy od problemu, który chcielibyśmy rozwiązać. Pierwszym krokiem jest zgromadzenie możliwie dużej wiedzy o badanym systemie i jego częściach składowych. Wiedza ta zwykle istnieje w umysłach ludzi bezpośrednio zaangażowanych w to co się dzieje w badanym procesie jak i wśród ludzi zawodowo zajmujących się opisywaniem zachowania się danego systemu (tak jak było to w przypadku grupy ludzi zajmujących się problemami urbanistycznymi). Gromadzone informacje nie muszą mieć zawsze charakteru ilościowego, mierzalnego, co zwykle proponowane jest w ortodoksyjnym podejściu do analizy procesów zarządzania i kierowania procesami społecznymi i gospodarczymi. Podejście Dynamiki Systemów umożliwia wykorzystanie komputera i symulacji komputerowej do opisu systemów w kategoriach zmiennych ilościowych i jakościowych.

Źródłem podejścia zaproponowanego przez Forrestera 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.

Metoda oparta na analizie przypadków stała się bardzo popularna dzięki specyficznemu podejściu do badania systemów zarządzania skupiającemu się na badaniu wzajemnych zależności w systemie, którego podstawowymi elementami są przedsiębiorstwo, rynek i konsumenci, a zasadniczym mechanizmem rozwoju jest konkurencja. Metoda ta w dużym stopniu korzysta z informacji opisowej, a nie ilościowej, oraz z wiedzy menedżerskiej trudnej do ilościowego określenia czy zapisu. Słabością tej metody jest brak widzenia całościowego wzajemnych wpływów jakie obserwuje się w systemach rzeczywistych. Bardzo trudno jest analizować tą metodą rozwój systemu w czasie, uwzględniając jednocześnie bezpośrednio i pośrednio wpływy poszczególnych elementów systemu. Bardzo często wnioski dotyczące dynamiki zmian oparte na tym podejściu są błędne. Trudno jest np. wyjaśnić często obserwowany fakt, że przedsiębiorstwa z pozoru bardzo podobne zachowują się w podobnym otoczeniu bardzo różnie.

Propozycja analizy systemów zarządzania i systemów gospodarczych jako systemów ze sprzężeniem zwrotnym wyraźnie zasugerowana została przez inżynierów, którzy stosowali tę koncepcję do analizy systemów technicznych. Przy bliższym przyjrzeniu się procesom rozwoju społecznego widać wyraźnie, że takie zjawiska jak wzrost, wahania (fluktuacje) i regres są wynikiem istnienia dodatnich i ujemnych pętli sprzężenia zwrotnego istniejących w tych systemach w sposób naturalny. Zastosowanie idei sprzężenia zwrotnego umożliwiło nowe spojrzenie na naturę systemów zarządzania i systemów gospodarczych.

W opinii wielu ludzi zaangażowanych w kształcenie menedżerów,

przyszły proces kształcenia będzie zawierał jako istotny element werbalną analizę podstawowych zachowań menedżerskich (*case-studies* zgrupowanych w swego rodzaju bibliotekę menedżera) w połączeniu z komputerowymi modelami umożliwiającymi analizę dynamicznego zachowania się systemów zarządzania (patrz *Learning Environments* poniżej). Każdy z takich modeli opisywał będzie szerokie spektrum zachowań, od sytuacji porażki do sytuacji sukcesu, zależnie od zastosowanej polityki i podejmowanych decyzji. W zarządzaniu istnieje zwyczaj by w pierw określać słabości danej sytuacji, danego systemu, a potem określać sposoby ich pokonania lub obejścia. Dynamika Systemów umożliwia badanie czegoś bardziej podstawowego, mianowicie próbę zrozumienia dlaczego pewne cele, kryteria postawione przed zarządzającymi nie zostały osiągnięte, jaka struktura organizacji uniemożliwia sukces a jak sprzyja jego osiągnięciu. Dzięki takiemu spojrzeniu na problem możliwe jest takie zaprojektowanie organizacji badanego systemu by uniknąć przyczyn powstawania problemów a nie starać się jedynie przeciwdziałać symptomom złego zachowania się systemu.

### **1. Istota podejścia proponowanego przez Forrestera**

Skuteczność modeli zależy w dużym stopniu od wykorzystania zgromadzonej informacji o systemie, który mamy badać. W modelach budowanych przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów informacja o systemie wykorzystywana jest w istotnie odmienny sposób aniżeli w innych podejściach do budowy modeli procesów społecznych. Różnica ta wynika przede wszystkim z widzenia procesu w pełnej jego dynamice, oraz ze znacznie szerszej bazy wiedzy użytej w trakcie budowania modelu przy

wykorzystaniu Dynamiki Systemów. Często mówiąc: “dane przydatne do budowy modelu”, mamy na myśli dane w postaci numerycznej, tymczasem przy budowie modelu z wykorzystaniem Dynamiki Systemów dane takie mogą mieć charakter werbalny (w umysłach ludzi zaangażowanych w budowę modelu oraz zapisane w sprawozdaniach, raportach, książkach, itp.), oraz postać numeryczną (jako dane ilościowe o badanych systemie). Podkreślenie wagi informacji werbalnej (zwłaszcza tej istniejącej w umysłach ludzi) jest o tyle istotne, że wielu badaczy uznaje ten typ informacji za podstawowy dla funkcjonowania społeczeństw ludzkich. Na uświadomienie sobie wagi tego rodzaju wiedzy proponuje się często dokonanie następującego eksperymentu myślowego: jak funkcjonowałoby społeczeństwo gdybyśmy w którymś momencie wymazali wszystkie informacje zapamiętane przez ludzi i dalsze funkcjonowanie tegoż społeczeństwa oparte byłoby tylko na informacjach zapisanych na nośnikach materialnych? Często wyrażane jest przekonanie, że możliwe byłoby odtworzenie zniszczonej informacji zapisanej na nośnikach materialnych i zapewnienie dalszego funkcjonowania społeczeństwa w przypadku zniszczenia tej informacji. Nie byłoby to możliwe w przypadku zniszczenia informacji zapamiętanych przez ludzi i ‘przechowywanych’ w ich umysłach. Na wagę informacji werbalnej, zwłaszcza tzw. wiedzy nieświadomionej (ang. *tacit knowledge*) wskazywał Michael Polanyi (1962, 1967). Czy istnieje pełna wiedza zapisana na nośnikach materialnych umożliwiająca zbudowanie samolotu, umożliwiająca funkcjonowanie rodziny, czy umożliwiająca rządzenie państwem? Większość naszej wiedzy pochodzi z doświadczenia, ma podobny charakter jak wiedza czeladnika pracującego u majstra. Podejście za pomocą Dynamiki Systemów umożliwia wykorzystanie również tego rodzaju wiedzy do budowy dynamicznego modelu badanego procesu.



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 Forrestera. Kiedy w 1985 roku programiści z *High Performance Systems* byli gotowi wypuścić na rynek pierwszą wersję programu umożliwiającego modelowanie za pomocą podejścia Forrestera, znanego później jako STELLA<sup>®</sup>, stanęli przed problemem jak go nazwać. Barry Richmond, *HPS's Managing Director*, zaproponował akronim STELLA oznaczający *Structural Thinking, Experiential 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.

Rozróżniamy dwa rodzaje sprzężenia zwrotnego: dodatnie i ujemne. Popatrzmy na Rysunek 1, więcej wypadków powoduje wzrost stawek

ubezpieczeniowych, te większe stawki zwiększają ostrożność ludzi, co przyczynia się do zmniejszenia się liczby wypadków – całość dąży do ustalenia się pewnego naturalnego poziomu wypadków. Podobnie jest z szybkością dostarczania przesyłek (czy realizacji zamówień) na Rysunku 1 po prawej stronie. Możemy powiedzieć, że ujemna pętla sprzężenia



Rysunek 1. Ujemne pętle sprzężenia zwrotnego

zwrotnego jest pętlą szukającą celu: podobnie jest ze znanym powszechnie termostatem utrzymującym temperaturę na wymaganym poziomie.

W przeciwieństwie do pętli o ujemnym sprzężeniu zwrotnym możemy mówić o pętlach z dodatnim sprzężeniem zwrotnym. W pętlach tego typu obserwujemy tendencję do wzrostu odchyień. Mówimy, że pętle te są samowzmacniające się. Przykładem tego rodzaju procesu jest wzrost populacji (np. drożdży) przy dostatecznie dużych zasobach energetycznych potrzebnych do rozwoju. Pętlę tego typu dobrze ilustruje przykład niemożliwości wykonania wyznaczonej pracy (Rysunek 2). Duża liczba zleconych prac powoduje powstanie długiej kolejki zadań 'praca do zrobienia'; współczynnik prac zrobionych ('szybkość realizacji zadań')

powoduje zmniejszanie się kolejki. Przy powstaniu dużych zatorów (bardzo długa kolejka) spodziewać się możemy powstania dużego poziomu nerwowości (niepokoju, trudności w skoncentrowaniu się na pracy, zniechęcenia) wśród pracujących – co przyczynia się do wydłużenia czasu realizacji, wydłużenie to z kolei powoduje, że i szybkość realizacji zadań zmniejsza się, co oczywiście doprowadza do wydłużenia się kolejki prac do zrobienia ( i tak byłoby bez końca, gdyby ktoś z zewnątrz nie zaingerowałby i nie przerwałby tego błędnego koła).



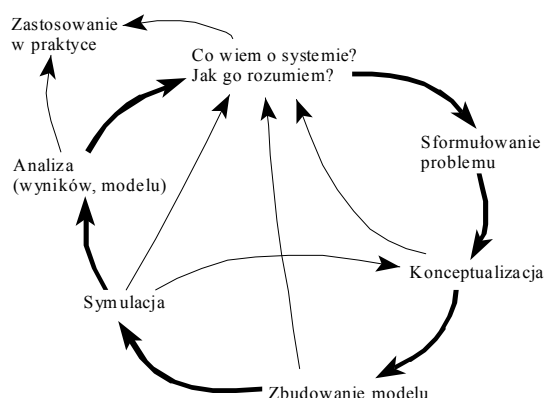
W Dynamice Systemów proponuje się następujące etapy pracy nad modelem:

Rysunek 2. Dodatnia pętla sprzężenia zwrotnego

1. Sformułowanie problemu (identyfikacja problemu i definicje).
2. Planowanie badań, konceptualizacja sytemu.
3. Zbudowanie modelu matematycznego (komputerowego – ale w istocie stoi za tym model formalny). Implementacja na komputer.
4. Analiza modelu, sprawdzenie jego poprawności, planowanie eksperymentów, eksperymentowanie z modelem.
5. (Po zebraniu doświadczeń) wykonanie ostatecznych badań i wykorzystanie modelu w praktyce.

Punkty 1, 2, 3 można nazwać etapem konceptualizacji, pozostałe punkty etapem technicznej realizacji. Oczywiście praca nad budową modelu i jego

wykorzystaniem daleka jest od prostego, liniowego procesu przechodzenia z jednego etapu prac nad modelem do następnego. W rzeczywistości obserwujemy częste powroty do etapów poprzednich i rozpoczynanie pracy niejako od nowa. Cały proces można zilustrować w konwencji diagramów przyczynowo-skutkowych i pętli jak na Rysunku 3.



Rysunek 3. Etapy prac nad budową modelu i jego wykorzystaniem

Identyfikacja problemu i konceptualizacja jest w dużym stopniu sztuką. Nie można podać generalnych i jedynie słusznych postulatów. Punkty 1 i 2 wydają się oczywiste, ale często robione są niestarannie; trzeba jednak powiedzieć, że dobra ich realizacja decyduje o sukcesie końcowym. Twórcy Dynamiki Systemów przedstawiają dwa postulaty,

które pozwalają ustrzec się przed myśleniem o *wszystkim* i koncentrować się na myśleniu o *czymś*:

1. Wiedz czego chcesz i do czego dążysz, uświadom sobie cel budowy modelu.
2. Koncentruj się na problemie a nie na systemie jako takim.

Pracując nad modelem należy zbierać zarówno dane ilościowe jak i jakościowe. Wybrać należy kluczowe zmienne dobrze opisujące badany system. Pomocne są próby wyobrażenia sobie sytuacji kiedy wymusza się na systemie pewne specyficzne warunki rozwoju i narysowanie charakterystycznych zmian w czasie niektórych zmiennych opisujących

system (często są to rysunki obrazujące zmiany w sposób jakościowy, bez wnikania w konkretne wartości liczbowe). Doświadczenia tego typu pozwalają na skoncentrowanie się na tym co jest istotne.

Diagramy przyczynowo-skutkowe (*causal-loop diagrams*) którymi operuje się w pierwszych etapach prac nad modelem (jak na Rysunkach 1 i 2) przedstawiają jedynie ogólną strukturę i zależności w modelu. Jak można oczekiwać niektóre z tych oddziaływań mają charakter działań arytmetycznych (dodawanie, mnożenie, odejmowanie, dzielenia) niektóre jednak mają charakter zmian kumulatywnych, tak jak np. liczba zamówień niezrealizowanych. Zmienne kumulujące się nazywane są w dynamice systemów poziomami, w odróżnieniu od drugiego rodzaju zmiennych opisujących szybkości przepływów. 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 w model komputerowy, bez posługiwania się jakimikolwiek zaawansowanymi równaniami matematycznymi. Diagramy przepływowe reprezentują swego rodzaju zbiorniki z dopływami i odpływami, przypominają system hydrauliczny ze zbiornikami, wannami, kurkami, rurami przepływowymi, itp.

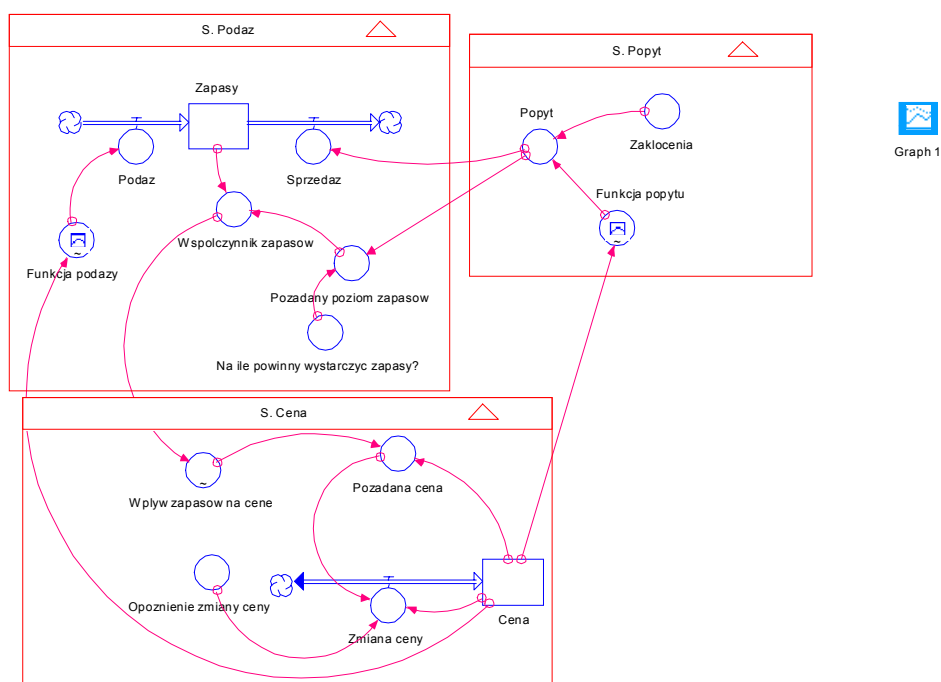
Na Rysunku 4 przedstawiono przykładowy model zbudowany przy pomocy *Stelli*,<sup>3</sup> który to program jest współczesną implementacją powstałej w latach sześćdziesiątych metody budowania modeli systemów dynamicznych zaproponowanej przez J.W. Forrestera powszechnie znanej jako Dynamika Przemysłu czy Dynamika Systemów (*Industrial Dynamics*,

---

<sup>3</sup> Inne stosowane oprogramowania do budowy modeli przy wykorzystaniu podejścia Dynamiki Systemów przedstawione są w Dodatku 1.

System Dynamics). Jest to prosty model kształtowania się ceny na rynku, składający się z trzech sektorów: Podaż, Popyt i Cena.

W modelu posłużono się znanymi z podstawowego kursu ekonomii pojęciami funkcji popytu i funkcji podaży. To co wyróżnia ten model od



Rysunek 4. Diagram przepływowy modelu *Podaż-Popyt*

klasycznych rozważań nad kształtowaniem się ceny na rynku to ujęcie dynamiczne tego zjawiska. Klasyczne podejście prezentowane na wykładach z ekonomii ogranicza się najczęściej do przedstawienia kształtów funkcji popytu i podaży i powiedzeniu, że cena równowagi wyznaczana jest przez punkt przecięcia się tych dwóch krzywych. Najczęściej nic się nie mówi o dynamice dochodzenia do punktu równowagi. Przedstawiony model pozwala studentom na spojrzenie na dynamikę tego procesu i zbadanie jak na tą dynamikę wpływają np.

kształty funkcji popytu i podaży, lub opóźnienia we wprowadzaniu nowej ceny wyznaczonej przez aktualnie siły podaży i popytu.

Budowanie modelu systemu przy wykorzystaniu *Stelli* przebiega na trzech poziomach:

- (1) poziomie ogólnej struktury modelu (opisującym najistotniejsze zależności pomiędzy wydzielonymi podsystemami (sektorami) i koncentrującym się na najistotniejszych oddziaływaniach w systemie)
- (2) poziomie 'diagramu przepływowego', obrazujący ilościowe oddziaływania pomiędzy zmiennymi opisującymi zachowanie się systemu (poziom ten odpowiada znanym w automatyce schematom analogowym)
- (3) poziom szczegółowych równań różniczkowo-różnicowych opisujących zachowanie się badanego systemu.

Użytkownik podaje informacje o badanym systemie na pierwszych dwóch poziomach, trzeci poziom budowany jest automatycznie przez *Stellę* w oparciu o kolejno podawane informacje o strukturze modelu i wartościach jego parametrów. Charakterystyczną cechą *Stelli* jest dążenie do maksymalnego uproszczenia i ułatwienia budowy modelu w oparciu o wiedzę budującego model o badanym systemie (wyrażaną często w sposób jakościowy, daleki od wszelkich formalizmów matematycznych). Dużym ułatwieniem jest możliwość budowy modelu przy użyciu myszki i minimalizacja korzystania z klawiatury. Praktycznie klawiatura używana jest jedynie do napisania nazw zmiennych i parametrów (co warto podkreślić napisania jednokrotnego, w momencie wprowadzania danej zmiennej czy parametru). Pozostałe informacje (łącznie z podawaniem wartości parametrów) praktycznie mogą być podawane przy użyciu myszki. Jak powiedzieliśmy cechy *Stelli* jako narzędzia budowy modeli dynamicznych wynikają ze specyfiki zastosowań tego pakietu oprogramowania. Budowa

modeli systemów technicznych nie była pierwotnym celem stosowanie *Stelli*, choć pewne intuicje przy opracowywaniu tego podejścia przez Forrestera wyraźnie pochodzą z obszaru teorii układów automatyki, teorii sterowania, cybernetyki i ogólnej teorii systemów.

Diagram przepływowy budujemy z czterech podstawowych elementów ('klocków'), których symbole przedstawione są w lewym górnym rogu okienka na ekranie komputera; są to kolejno: prostokąt, dla oznaczenia zmiennej określanej nazwą "poziomu" (zmiennej kumulatywnej, w naszym przypadku są to: 'Zapasy' i "Cena'), znak kurka (kranu), określający przepływ (będący odpowiednikiem pochodnej, w naszym modelu np. 'Podaż' i 'Sprzedaz' tygodniowa), koło na oznaczenie zmiennej pomocniczej (która może służyć do określania parametrów modelu, jak i zależności pomocniczych opisujących system, np. 'Wpływ zapasów na cenę' czy 'Pozadany poziom zapasów'), oraz strzałka, do zaznaczania oddziaływań pomiędzy poszczególnymi zmiennymi w modelu (reprezentowanymi przez trzy wspomniane symbole). Diagram przepływowy budujemy biorąc odpowiednie 'klocki' (prostokąt, kurek, kółko, strzałkę) z menu i 'przenosząc' go w odpowiednie miejsce na ekranie.

Określając w ten sposób strukturę modelu, niejako nieświadomie budujemy układ równań różniczkowych opisujących zachowanie się systemu. Musimy pamiętać, że *Stella* (jak i wszystkie inne oprogramowania w Dynamice Systemów) zaprojektowana została dla użytkowników nie będących specjalistami w budowie modeli i w symulacji systemów dynamicznych, dla których samo podejście do opisu systemu za pomocą układu równań różniczkowych jest często czymś obcym.

Użytkownicy do których adresowana jest *Stella* znają doskonale system, którego model chcą zbudować i dlatego są w stanie dostarczać wiarygodnych informacji o mechanizmach i zasadach funkcjonowania



**S. Cena**

$$\text{Cena}(t) = \text{Cena}(t - dt) + (\text{Zmiana\_ceny}) * dt$$

$$\text{INIT Cena} = 15$$

INFLOWS:

$$\text{Zmiana\_ceny} = (\text{Pozadana\_cena} - \text{Cena}) / \text{Opoznienie\_zmiany\_ceny}$$

$$\text{Opoznienie\_zmiany\_ceny} = 1$$

$$\text{Pozadana\_cena} = \text{Wplyw\_zapasow\_na\_cene} * \text{Cena}$$

$$\text{Wplyw\_zapasow\_na\_cene} = \text{GRAPH}(\text{Wspolczynnik\_zapasow})$$

$$(0.00, 1.99), (0.15, 1.49), (0.3, 1.23), (0.45, 1.06), (0.6, 0.898), (0.75, 0.793), (0.9, 0.725), (1.05, 0.65), (1.20, 0.605), (1.35, 0.545), (1.50, 0.508)$$

**S. Podaz**

$$\text{Zapasy}(t) = \text{Zapasy}(t - dt) + (\text{Podaz} - \text{Sprzedaz}) * dt$$

$$\text{INIT Zapasy} = \text{Pozadany\_poziom\_zapasow}$$

INFLOWS:

$$\text{Podaz} = \text{Funkcja\_podazy}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Sprzedaz} = \text{Popyt}$$

$$\text{Na\_ile\_powinny\_wystarczyc\_zapasy?} = 4$$

$$\text{Pozadany\_poziom\_zapasow} = \text{Popyt} * \text{Na\_ile\_powinny\_wystarczyc\_zapasy?}$$

$$\text{Wspolczynnik\_zapasow} = \text{Zapasy} / \text{Pozadany\_poziom\_zapasow}$$

$$\text{Funkcja\_podazy} = \text{GRAPH}(\text{Cena})$$

$$(0.00, 0.00), (5.00, 18.0), (10.0, 35.5), (15.0, 54.0), (20.0, 71.0), (25.0, 82.5), (30.0, 88.0), (35.0, 92.5), (40.0, 96.5), (45.0, 98.5), (50.0, 100)$$

**S. Popyt**

$$\text{Popyt} = \text{Funkcja\_popytu} + \text{Zaklocenia}$$

$$\text{Zaklocenia} = 0$$

$$\text{Funkcja\_popytu} = \text{GRAPH}(\text{Cena})$$

$$(5.00, 100), (10.0, 71.0), (15.0, 56.0), (20.0, 45.5), (25.0, 35.0), (30.0, 27.0), (35.0, 20.0), (40.0, 16.5), (45.0, 12.5), (50.0, 9.50), (55.0, 7.50)$$

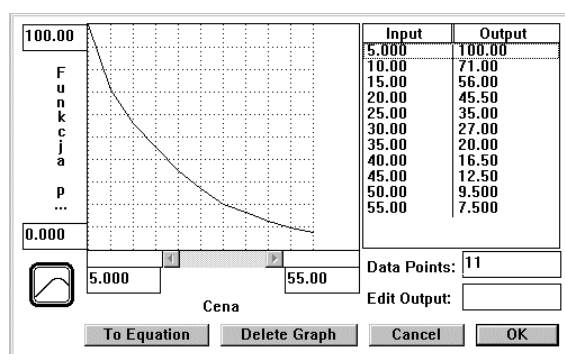
Rysunek 5. Równania dla modelu *Podaż-Popyt*

danego systemu. Dlatego konstrukcja *Stelli* umożliwiła budowę modelu systemu poprzez podawanie potrzebnych informacji o systemie, którego model jest budowany, a program sam, w oparciu o kolejno podawane informacje, buduje model dynamiczny tego systemu (o czym użytkownik nie musi wcale wiedzieć). Jak wyglądają takie równania na danym etapie budowy modelu możemy się przekonać przechodząc na trzeci poziom budowy modelu naciskając odpowiedni przycisk na ekranie komputera. Na Rysunku 5 pokazano te równania dla naszego przykładowego modelu.

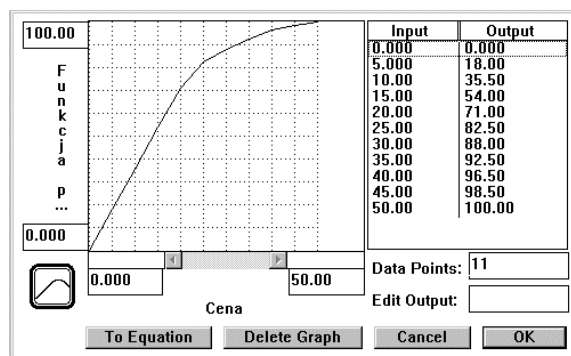
Równania te zapisane są w postaci zdyskretyzowanej,  $dt$  oznacza krok

czasowy z jakim całkowane będą równania. Wartość każdego poziomu w danej chwili jest równa wielkości tego poziomu w chwili poprzedniej plus to co do niego wpływa i minus to co z niego wypływa w przedziale czasu  $\Delta t$ . Program automatycznie określa znak + lub – danego przepływu zależnie od tego czy strzałka określająca przepływ dochodzi do prostokąta lub czy z niego wychodzi.

Funkcje popytu i podaży zadawać można w postaci graficznej (jako funkcję kawałkami liniową), wyznaczając kształty tych funkcji myszką na ekranie komputera lub podając dokładne współrzędne



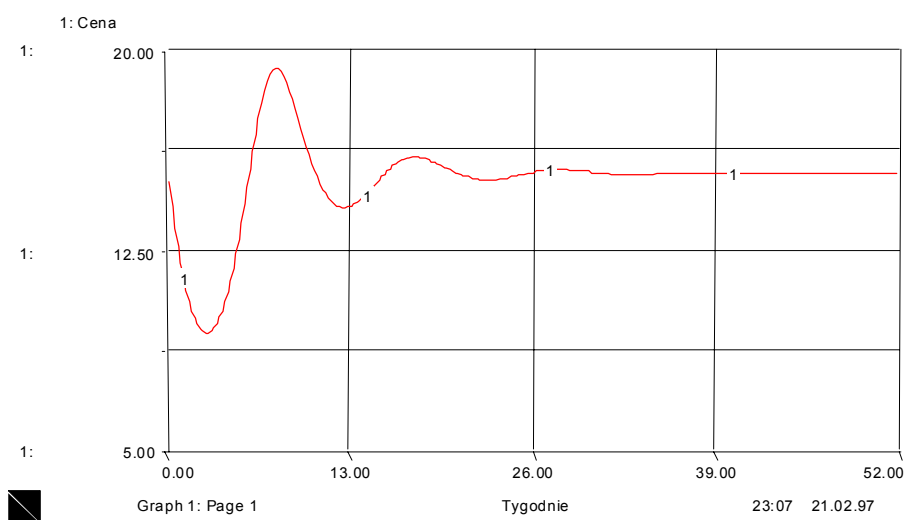
Rysunek 6. Funkcja popytu



Rysunek 7. Funkcja podaży

punktów. Przykładowe takie funkcje przedstawiono na Rysunkach 6 i 7.

*Stella* ma duże możliwości przedstawiania wyników symulacji w postaci wykresów, tabel i na tzw. displayach (pokazujących bieżące wartości niektórych zmiennych w trakcie symulacji). Wykres kształtowania się ceny dla funkcji pokazanych na Rysunkach 6 i 7 przedstawiono na Rysunku 8. *Stella* umożliwi w prosty sposób na zmianę wartości parametrów modelu, kształtu funkcji (np. popytu i podaży), zmianę struktury modelu, charakteru oddziaływań pomiędzy zmiennymi, itp. i następnie obserwować jak



Rysunek 8. Ustalanie się ceny w modelu *Podaż-Popyt*

wprowadzane zmiany wpływają na zachowanie się modelu, np. na szybkość ustalania się ceny, występowanie oscylacji, czy też pojawianie się niestabilności.

Dynamika Systemów umożliwia budowanie zarówno dużych jak i małych modeli. W ostatnich latach w zastosowaniach dynamiki systemów daje się zauważyć tendencje do budowania małych modeli, przede wszystkim po to by umożliwić szybkie przetestowanie toku myślenia i potwierdzenie, lub też odrzucenie, założeń i hipotez formułowanych przez każdego człowieka w jego codziennych zmaganiach z rzeczywistością. Małe modele służą niejako potwierdzeniu lub odrzuceniu pewnych modeli myślowych formułowanych w umysłach ludzi w sposób werbalny (formułowanych często, przed próbą ich konkretyzacji za pomocą Dynamiki Systemów, w sposób nieuświadomiony). Służą one też jako pewien język komunikowania się pomiędzy ludźmi zaangażowanymi w badanie, kierowanie czy wytyczanie strategii rozwoju danego systemu, np. przedsiębiorstwa.

Zbudowanie małego modelu, odzwierciedlającego pewne modele

myślone nie wymaga długiego czasu i wielkiego wysiłku, co jest zasadniczą zaletą Dynamiki Systemów. Oczywiście spodziewać się należy kontynuowania obecnego w przeszłości trendu budowania dużych modeli (podobnych do modelu gospodarki amerykańskiej (*System Dynamics National Model*) czy do Modelu Świata powstałego dla Klubu Rzymskiego, które to modele zawierały po kilka tysięcy równań). Ze względu na duży wysiłek badawczy i finansowy konieczny do zbudowania tak dużych modeli, oraz długi czas ich realizacji powstawać one będą raczej sporadycznie, kiedy ograniczenia czasowe i finansowe nie będą bardzo istotne. Duże modele powstawać będą na specyficzne zamówienie zainteresowanych organizacji lub też w ramach pewnych projektów naukowych mających na celu teoretyczne zbadanie pewnych implikacji czynionych założeń dotyczących np. wyboru strategii rozwoju.

Nie zawsze wnioski wyciągnięte z symulacji dużych modeli uzasadniają tak duży wysiłek badawczy i finansowy. Jak wskazują niektóre doświadczenia, wiele wniosków wysnutych z symulacji dużych modeli mogło być uzyskanych z badania wielu małych modeli, ale znacznie mniejszym wysiłkiem badawczym i finansowym.

## **2. Dynamika Systemów w kształceniu**

W pierwszej fazie rozwoju dynamiki systemów, w latach sześćdziesiątych i początku siedemdziesiątych, podejście to stosowane było przede wszystkim przez naukowców jako narzędzie badawcze. W końcu lat siedemdziesiątych i w latach osiemdziesiątych dynamika systemów wykorzystywana była również w kształceniu na poziomie uniwersyteckim, zwłaszcza w kształceniu ekonomistów i menedżerów. Kształcenie tego typu jest kontynuowane i to zarówno na poziomie studiów uniwersyteckich jak i podyplomowych

(zwłaszcza w kształceniu menedżerów z przemysłu) oraz w ramach studiów doktoranckich. W ostatnich latach daje się zaobserwować nowy trend w kształceniu przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów, mianowicie kształcenie na poziomie szkoły podstawowej i średniej (Forrester, 1992; Roberts, et al., 1983; Roberts, 1978).

Tradycyjne kształcenie zniechęca do dokonywania przez ucznia syntezy nabytej wiedzy i kojarzenia wielu pojedynczych faktów, które poznaje w procesie kształcenia na różnych przedmiotach w szkole. W tradycyjnym kształceniu ucznia duży nacisk kładzie się na wiedzę o procesach społecznych w ich statycznej postaci, mało uwagi zwraca się na dynamikę zmian społecznych, na poznawanie i rozumienie zmian społecznych zachodzących w czasie. W opinii zwolenników Dynamiki Systemów może ona pomóc w przełamaniu tych barier w kształceniu uczniów na poziomie podstawowym i średnim. Pozwoli to uczniom na poznanie roli różnych czynników, tkwiących w samym systemie jak i w jego otoczeniu, sprzyjających zmianom. Takie rozciągnięcie kształcenie przy użyciu dynamiki systemów od szkoły podstawowej do uniwersytetów przyczyni się do lepszego rozumienia zmieniającej się szybko rzeczywistości społeczno-gospodarczej jak i pozwoli przyszłym pokoleniom na lepsze radzenie sobie w coraz to bardziej skomplikowanym życiu społecznym. Budowanie prostych modeli rzeczywistości społeczno-gospodarczej pozwoli uczniom na wypracowanie w sobie pewnych nawyków myślowych oraz wypracowanie modeli myślowych, którymi posługiwać będą się w życiu dorosłym. Wprowadzi też nawyk korzystania z tego typu narzędzi w ich dorosłym życiu po to by weryfikować i dopasowywać swoje modele myślowe do zmieniającej się rzeczywistości.

Pomysły intensywniejszego wykorzystania Dynamiki Systemów w kształceniu dzieci i młodzieży powstawały w latach osiemdziesiątych raczej

sporadycznie, bez jakiegokolwiek bazy instytucjonalnej. Dopiero w 1992, w Stanach Zjednoczonych dzięki aktywności m.in. John R. Bemisa powstała prężna organizacja *Creative Learning Exchange*<sup>4</sup> przygotowująca i rozprowadzająca materiały edukacyjne z zakresu Dynamiki Systemów, potrzebne w kształceniu uczniów szkół podstawowych i średnich. CLE organizuje seminaria i kursy dla nauczycieli pragnących wykorzystać dynamikę systemów w kształceniu, pomaga nauczycielom w przygotowaniu materiału ilustracyjnego na ich specyficzne potrzeby w ramach przedmiotów w których kształcą dzieci, utrzymuje też sieć kontaktów pomiędzy szkołami, pomagając w ten sposób wymianie doświadczeń.

Również grupa studentów z MIT, zaangażowanych w *Undergraduate Research Opportunities Program*, pracuje pod kierunkiem Jay W. Forrestera nad przygotowaniem materiałów edukacyjnych w kształceniu na poziomie szkoły podstawowej i średniej. Grupa ta współpracuje z nauczycielami z *Cambridge Rindge* oraz *Latin High School* by testować przygotowane materiały i zdobyć doświadczenie, współpracując z uczniami w klasie w warunkach rzeczywistych. Obecnie przygotowują oni obszerny materiał, coś w rodzaju przewodnika, pomocnego w samokształceniu się w zakresie Dynamiki Systemów oraz pomocnego w przygotowaniu zajęć w szkołach, zatytułowany *Road Maps*.<sup>5</sup> Materiał ten będzie uzupełniany przez

---

<sup>4</sup> Ms. Lees Stuntz, Executive Director, Creative Learning Exchange, 1 Keefe Road, Acton, MA 01720, USA, tel: 508-287-0070, fax: 508-287-0080.

<sup>5</sup> Lista książek zalecanych przez MIT w ramach projektu *Road Maps*:

- Kauffman, Draper L., 1980, *Systems 1: An Introduction to Systems Thinking*. (Road Maps 1)
- Goodman, Michael R., 1974, *Study Notes in System Dynamics*. Portland, Oregon: Productivity Press, 388 pp. (Road Maps 2 onwards)
- Roberts, Nancy, 1983, *Introduction to Computer Simulation*. Portland, Oregon: Productivity Press, 562 pp. (Road Maps 2 onwards)
- Forrester, Jay W., 1969, *Urban Dynamics*. Portland, Oregon: Productivity Press, 285 pp. (Road Maps 3 onwards)
- Meadows, Donella H., Dennis Meadows, Jorgen Randers, 1992, *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*. Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Co., 300 pp. (Road Maps 5).

artykuły pisane przez samych studentów jak i przez wybór odpowiednich fragmentów z ponad 4000 prac z zakresu Dynamiki Systemów jakie zgromadzone zostały w MIT w *System Dynamics Group*. Materiał powstały w ramach tego projektu (nazwanego w MIT *System Dynamics in Education Project* i zainicjowany w 1990 roku) będzie rozpowszechniany przez *Creative Learning Exchange*.

Kilka szkół średnich w Stanach Zjednoczonych wykorzystuje już podejście dynamiki systemów w prowadzeniu zajęć z matematyki, fizyki, biologii, nauki o społeczeństwie i historii. Trzeba jednak powiedzieć, że programy te nie osiągnęły jeszcze odpowiedniego poziomu i nie zdobyły jeszcze dostatecznego doświadczenia by stały się wzorcami w zintegrowanym systemie kształcenia. Najbardziej zaawansowanym eksperymentem w Stanach Zjednoczonych w tym zakresie jest przedsięwzięcie w okręgu w Tucson w Arizonie, *Catalina Foothills School District of Tucson*. Opracowany w tym okręgu program kształcenia powstał dzięki dużej pomocy rodziców, którzy wspomagali nauczycieli osobistą pomocą jak i organizowaniem potrzebnych funduszy na prowadzenie tego typu zajęć (np. na zakup komputerów i oprogramowania). W wielu projektach prowadzonych przez uczniów dostrzec można wielodyscyplinarność podejścia. Jak pisze jeden z nauczycieli (Davidsen, 1990), w projekcie skoncentrowanym na badaniu problemów ekologicznych połączono rozważania dotyczące procesów fizycznych i chemicznych z historycznymi i gospodarczymi.

Ciekawym projektem zastosowania dynamiki systemów w kształceniu jest prowadzony już od wielu lat *Systems Thinking and System Dynamics in the CC-STADUS High School Project* w Portland, Oregon. W nauczaniu używana jest *Stella*, akronim CC-STADUS znaczy *Cross-Curricular Systems Thinking and Dynamics Using STELLA*. W ramach projektu

kształci się również, uczących w szkołach średnich, nauczycieli matematyki, fizyki, biologii i nauk społecznych w wykorzystywaniu Dynamiki Systemów w prowadzeniu zajęć z uczniami na tych przedmiotach.

Tryb nauczania dynamiki systemów zależy od prowadzącego nauczyciela. Scott Guthrie z *Science Teacher w Wilson High School* zaczyna od zapoznania uczniów ze *Stellą* po czym, pod nadzorem nauczyciela, uczniowie próbują sami budować prosty model oszczędzania i wydawania pieniędzy. Dzięki temu doświadczeniu uczniowie zapoznają się ze wzrostem typu eksponencjalnego. Poznają też dokładniej możliwości *Stelli* i zapoznają się z jej podstawowymi blokami. Nabierają też wprawy w systematycznym podejściu do budowy modelu, jego symulacji i modyfikacji. Końcowy model oszczędzania i wydawania pieniędzy zbudowany przez uczniów zawiera kilka dosyć mocno powiązanych ze sobą poziomów i przepływów. W następnym etapie aktywności uczniowie zapoznają się z bardziej skomplikowanym modelem tamy i hydroelektrowni. Zaczynają oczywiście od bardzo prostego modelu, który w kolejnych etapach uszczegóławiania staje się coraz to bardziej skomplikowany. Dzięki temu doświadczeniu uczniowie zapoznają się z typowymi krzywymi rozwoju: liniowym wzrostem i liniowym spadkiem, wzrostem zgodnym z krzywą logistyczną (z nasyceniem) oraz dążeniem do stanu równowagi w systemie z ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

Natomiast Diana Fisher, nauczycielka matematyki w *Franklin High School*, zaczyna od analizy danych i dopasowywania różnego rodzaju krzywych typu liniowego, kwadratowego, eksponencjalnego i logistycznego do danych liczbowych. W ostatnim ćwiczeniu tego typu uczniowie sami muszą przyjrzeć się danym i zdecydować jaki rodzaj krzywej najlepiej do nich pasuje i dopasować ją. W następnym etapie nauki uczniowie próbują budować model rozwoju populacji ludzkiej. Celem jest zapoznanie się z



możliwościami *Stelli* i poznanie metodologii budowy modeli procesów rzeczywistych. W kolejnym etapie uczniowie sami proponują zbudowanie modelu jakiegoś procesu, tak by mogli w trakcie jego budowy zapoznać się z podstawowymi krzywymi wzrostu. W raporcie z prowadzonych prac uczniowie muszą zawrzeć interpretację takiego a nie innego zachowania się ich modelu. Na kolejnych lekcjach uczniowie mają za zadanie zbudowanie modelu rozwoju populacji tubylców na *Easter Island* w latach od 1000 do 1600. Celem tego doświadczenia jest zapoznanie uczniów z koniecznością wykorzystania różnego rodzaju wiedzy jaką zdobyli na innych przedmiotach nauczanych w szkole.

Na koniec pierwszego semestru uczniowie zapoznają się z bardziej skomplikowanymi modelami (jak np. modelem połowu ryb, czy modelem farmakokinezy, symulującym leczenie pacjentów) i próbują stosować je do opisu rzeczywistych sytuacji jak np. kierowania przedsiębiorstwem połowowym tak by nie doprowadzić do wyginięcia stada ryb i utrzymania założonej wielkości dochodów, albo też do opracowania strategii leczenia w dwóch konkretnych sytuacjach medycznych.

Drugi semestr poświęcony jest na samodzielną pracę uczniów w grupach dwu lub trzy osobowych. Uczniowie mają za zadanie zbudowanie oryginalnego modelu rzeczywistego systemu. Muszą zebrać potrzebne dane, zbudować model, przeprowadzić symulacje i na koniec napisać raport z badań. W trakcie tego doświadczenia uczniowie stają się niezależnymi badaczami zmuszonymi sami podejmować decyzje jakie dane zebrać, jakie uproszczenia można i należy poczynić by adekwatnie opisać postawiony problem. W raporcie muszą zawrzeć opis poczynionych założeń, wyjaśnić dlaczego je poczynili oraz przedstawić analizę zasadności modelu.

Z pracami nad wykorzystaniem dynamiki systemów w kształceniu związany jest także inny nurt aktywności niektórych firm komputerowych,

mianowicie z opracowywaniem multimedialnych programów kształcenia znanych pod nazwą *Learning Environments (LEs)*. Programy takie opracowane zostały m.in. przez firmę *High Performance System*. Reklamowane są one pod znamienym hasłem *Tools for Transitioning from Fish to Fishing*, co z pewnością związane jest ze starym chińskim przysłowiem, że lepiej nauczyć kogoś łowić ryby niż podarować mu jedną do zjedzenia. W zamierzeniu twórców takich zintegrowanych pakietów kształcenia, mają one wykorzystywać ostatnie osiągnięcia w zakresie symulacji komputerowych po to by pomóc aktywnym menedżerom, oraz przyszłym menedżerom, w zrozumieniu szybko zmieniających się procesów gospodarczych i społecznych, z jakimi stykają się w swojej codziennej praktyce. Menedżerowie korzystając z oprogramowania wbudowanego w *LEs* mogą na bieżąco, wolni od ryzyka podjęcia błędnych decyzji (z jakimi spotykają się w rzeczywistości, podejmując swoje codzienne decyzje w firmach w których pracują), testować jak zachowywać się będą systemy i jakie będą konsekwencje długo i krótkookresowe ich decyzji. Dzięki temu są w stanie uczyć się na swoich błędach, błędach których koszt jest zerowy w porównaniu z kosztami nieodpowiednich decyzji podejmowanych w rzeczywistych systemach, w ich macierzystych firmach. Wielokrotnie powtarzając symulowane decyzje są w stanie lepiej zrozumieć sam system jak i poznać mechanizmy rządzące jego rozwojem.

Obecnie *High Performance Systems* proponuje dwa programy typu *LEs*, *Systems Thinking...Taking the Next Step* oraz *Building Service, Driving Profits*. Pierwszy program jest wprowadzeniem w Myślenie Systemowe (obejmujące również Dynamikę Systemów) i jest praktycznym zastosowaniem tego podejścia do opisu rzeczywistych organizacji w usługach i w przemyśle. Umożliwia też budowanie modeli organizacji (np. firmy) w której uczący się aktualnie pracuje. Drugi program *Building*

*Service, Driving Profits* stworzony został na indywidualne zamówienie *Harvard Business School Publishing Company* i w zamierzeniu jest pierwszym interaktywnym programem multimedialnym zaprojektowanym jako uzupełnienie kształcenia w oparciu o tzw. *case studies* w *Harvard Business School*. Program ten wykorzystuje Dynamikę Systemów i stwarza bardzo realistyczne otoczenie w procesie podejmowania decyzji przez użytkownika kierującego daną organizacją poprzez zastosowanie nowoczesnych rozwiązań multimedialnych jak np. filmów w których komentowane są na bieżąco podejmowane decyzje użytkownika.

Oprócz tych nowoczesnych podejść do kształcenia z wykorzystaniem dynamiki systemów prowadzone są liczne, tradycyjne kursy uniwersyteckie.<sup>6</sup> Niech jako przykład posłuży nam kurs kształcenia w ramach organizacji i zarządzania, prowadzony przez Johna Stermana w MIT pt. *System Dynamics for Business Policy*. Celem tego kursu jest znalezienie odpowiedzi na pytania często stawiane przez menedżerów, w rodzaju: Dlaczego tak wiele strategii w biznesie okazuje się nieskutecznymi? Dlaczego pozytywne skutki wielu strategii okazują się tak bardzo krótkotrwałe? Dlaczego w rozwoju wielu organizacji obserwujemy tak dużo okresowych kryzysów, wahań wartości sprzedaży, zysków i postaw ludzi zatrudnionych w firmie? Dlaczego niektóre firmy rozwijają się a inne upadają lub wchodzą w okres stagnacji? Jakie są przyczyny, że firma dominująca na rynku naraz traci swoją przewagę i zostaje eliminowana z rynku?

W ramach tego kursu studenci dowiadują się o wielorakich konsekwencjach każdej podejmowanej decyzji i nabierają doświadczenia w podejmowaniu decyzji efektywnych. Studenci uczą się przedstawiać

---

<sup>6</sup> Lista niektórych kursów prowadzonych przez różne uczelnie na świecie przedstawiona jest w Dodatku 2.

organizacje w biznesie w kategoriach jej struktury i stosowanych strategii rozwoju po to by obserwować ich rozwój w czasie i wpływać na ich zachowanie. Dzięki podejściu symulacyjnemu studenci są w stanie obserwować na ekranie komputera, skompresowane w kilku, czy też kilkunastu sekundach, procesy zachodzące w firmie rzeczywistej zazwyczaj w ciągu miesięcy czy też lat. W trakcie kursu wykorzystywane są gry menedżerskie, modele symulacyjne oraz studia przypadków (*case studies*) oraz tzw. menedżerskie symulatory lotów (*management flight simulators*) w których sterowanie firmą na ekranie komputera jest podobne do sterowania samolotem w kokpicie samolotu – przyciskając pewne przyciski i przesuwając pewne dźwignie, podejmowane są decyzje dotyczące przyszłego rozwoju firmy.

Jak zwykle w podejściu wykorzystującym Dynamikę Systemów celem modelowania jest polepszenie rozumienia sposobów funkcjonowania organizacji (firmy). W trakcie kursu studenci wykorzystują modele symulacyjne do badania różnych strategii dotyczących wielkości sprzedaży, produkcji, rozwoju rynku lub też jego stagnacji, dyfuzji nowych technologii. Poznają potrzebę robienia prognoz i czynienia ich coraz to mniej zawodnymi. Zapoznają się z rolą opóźnień w systemie oraz nabywają doświadczenia jak opóźnione efekty ich decyzji wpływają na rozwój systemu.

Ciekawą propozycją dla studentów z całego świata zainteresowanych w stosowaniu Dynamiki Systemów do opisu procesów społecznych jest program studiów magisterskich i doktoranckich na Uniwersytecie w Bergen w Norwegii (*Foreign Student Office, University of Bergen, Langesgt. 1 - 3, N-5020 Bergen, Norway*).

Dwuletnie studia magisterskie (do przyjęcia na te studia wymagany jest stopień licencjata, *Bachelor*) pozwalają na uzyskanie tytułu magistra

(*M.Phil.*) o specjalności Informatyka, Dynamika Systemów (*Information Science, System Dynamics*). Ukończenie tych studiów z wyróżnieniem pozwala na podjęcie studiów doktoranckich o specjalności Dynamika Systemów.

Oprócz napisania pracy magisterskiej z zakresy Dynamiki Systemów, program magisterski obejmuje cztery kursy przedmiotowe w pierwszym roku studiów oraz seminarium dyplomowe w drugim roku studiów. Dwa z tych kursów, *Principles of the Systems Dynamics Method* i *Principles of System Dynamics Modeling and Analysis*, są obowiązkowe. Dwa inne, *System Dynamics Based Interactive Learning Environments* oraz *System Dynamics Based Research Methods*, są opcjonalne.

Kurs *Principles of the System Dynamics Method* obejmuje: Podstawy Dynamiki Systemów i metodologii Dynamiki Systemów; identyfikację problemu i konceptualizację modelu; zastosowania współczesnych narzędzi programowania w Dynamice Systemów do budowy złożonych, dynamicznych modeli systemów społecznych i naturalnych.

Kurs *Principles of System Dynamics Modeling and Analysis* obejmuje: Podstawy modelowania i symulacji komputerowej. Wstęp do formalnych metod modelowania i symulacji, analizy problemu i określania strategii rozwoju. Zastosowanie symulacji komputerowej do modelowania złożonych, nieliniowych i stochastycznych procesów społecznych.

### **Uwagi końcowe**

Lista publikacji z zakresu dynamiki systemów liczy kilka tysięcy pozycji. Cooper i Steinhurst (1992) opracowali spis ponad 3000 książek, artykułów w czasopiśmie, artykułów konferencyjnych i raportów z zakresu Dynamiki Systemów. Niestety duża popularność Dynamiki Systemów na świecie nie

znajduje odzwierciedlenia w Polsce. Niewiele ośrodków w kraju stosuje i rozwija to podejście, jak również w niewielkim stopniu wykorzystuje się Dynamikę Systemów w edukacji. Wydaje się, że Dynamika Systemów w Polsce mogłoby stać się szczególnie popularna w kształceniu ekonomi oraz zarządzania. Lista niektórych publikacji pomocnych w kształceniu w zakresie ekonomii i zarządzania przedstawiona została w Dodatku 3. Szczególnie pomocne w kształceniu menedżerów byłoby wykorzystanie wielu popularnych gier kierowniczych zbudowanych przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów. Najpopularniejszymi grami tego typu są *The Beer Distribution Game*, *STRATAGEM*, *Fishbanks Game* oraz *People Express Management Flight Simulator*.

*The Beer Distribution Game* wykorzystywana jest zwłaszcza w pierwszej fazie kształcenia, do zapoznania studentów z możliwościami Dynamiki Systemów. Analizując system sprzedaży i dystrybucji piwa studenci zapoznają się z wpływem opóźnień (w tym przypadku opóźnień w dostawie piwa) na dynamikę systemu i możliwościami sterowania zamówieniami by spełnić oczekiwania klientów. Instrukcje, taśmy wideo i inne materiały odnoszące się do tej gry można uzyskać od Johna Stermana z MIT.

*STRATAGEM* zbudowana przez D. L. Meadows, UNH, Durham NH, jest interaktywną grą planszową ze wspomaganiami komputerowym. Każdy zespół kieruje rozwojem wybranego kraju wpływając na rozwój populacji, przemysłu, wielkości zanieczyszczeń, zużywanej energii, oraz handlu zagranicznego. Wykorzystywana szczególnie do ilustracji zagadnień odnoszących się do tzw. trwałego rozwoju (*sustainable development*).

Denis Meadows opracował również *Fishbanks Game* w której gracze kierują przedsiębiorstwem połowowym. Gra ta ilustruje problemy związane z zarządzaniem zasobami odnawialnymi. *Fishbanks Game* uzyskała certyfikat Ministerstwa Edukacji USA (*US Dept. of Education*) i może być

wykorzystywana w kształceniu uczniów szkół średnich, na poziomie uniwersyteckim oraz w kształceniu urzędników państwowych.

Czwarta gra to opracowany przez Johna Stermana *People Express Management Flight Simulator*. Jest to gra interaktywna w której gracze kierując przedsiębiorstwem lotniczym zapoznają się z efektami sprzężeń zwrotnych i naturalnych nieliniowości występujących w systemach. Dzięki tej grze gracze mogą poznać w jaki sposób można usprawniać zarządzanie przedsiębiorstwem dzięki doświadczeniu zdobywanemu w trakcie kierowania przedsiębiorstwem.

Literatura dotycząca gier zbudowanych przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów jest bardzo obszerna, jej przegląd można znaleźć w (Keys, Wolfe, 1990) oraz (Klein, Fleck, 1990). W artykule o nowych podejściach do gier symulacyjnych Kenneth Simons (1993) podkreśla wagę tego narzędzia w nauczaniu i w poznawaniu systemów społeczno-gospodarczych.

### Literatura

- Cooper, K. and W. Steinhurst, eds. 1992. *The System Dynamics Society Bibliography*. System Dynamics Society.
- Forrester Jay W., 1992, 'System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education', Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, raport D-4337 1
- Roberts, Nancy, 1978, 'Teaching Dynamic Feedback Systems Thinking: an Elementary View', *Management Science*, Vol. 24, No. 8, pp. 836-43.
- Roberts, Nancy, David Andersen, Ralph Deal, Michael Gareth, and William Shaffer, 1983, *Introduction to Computer Simulation: A System Dynamics Modeling Approach*, 562 pp.
- Davidson, Pól I., 1990, 'System Dynamics, a Pedagogical Approach to the Teaching of Complex, Dynamic Systems by Means of Simulation (draft copy)', EURIT 90,

- The European Conference on Technology and Education, pp. 12.
- Keys, Bernard, and Joseph Wolfe (1990), 'The Role of Management Games and Simulations in Education and Research', *Journal of Management* 16, no. 2: 307-36.
- Klein, R.D., and R.A. Fleck, Jr. (1990), International Business Simulation/Gaming: An Assessment and Review, *Simulation & Games* 21, no.2: 147-65.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, & W. W. Behrens III. 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows & J. Randers. 1992. *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning A Sustainable Future*. Post Mills VT: Chelsea Green.
- Polanyi M. (1962), *Personal knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, New York: Harper Torchbooks.
- Polanyi M. (1967), *The Tacit Dimension*, Garden City, N.Y.: Doubleday Anchor.
- Simons, Kenneth L. (1993), New Technologies in Simulation Games, *System Dynamics Review* 9, no. 2: 135-52.



Dodatek 1.

### **Lista stosowanego oprogramowania do budowania modeli przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów**

#### 1. *DYNAMO*

*DYNAMO* był pierwszym językiem symulacyjnym umożliwiającym budowanie modeli przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów. Opracowany przez Jacka Pugh z MIT stał się językiem komercyjnym na początku lat sześćdziesiątych. Obecnie *DYNAMO* używane jest również na komputerach klasy PC w środowisku DOS i Windows.

Więcej informacji można uzyskać od producenta:

*Pugh-Roberts Associates*

41 William Linskey Way

Cambridge MA 02142

Phone: 617 864 8880

Fax: 617 864 8884

#### 2. *IThink/Stella*

Po raz pierwszy stworzona w 1984 roku dla komputerów klasy Macintosh. *Stella* umożliwia budowanie modeli dynamiki systemów w trybie graficznym. *IThink* jest mutacją *Stelli*; oba programy są bardzo podobne, producent dołącza do nich jedynie różne przykłady zastosowań – *Stella* w zamierzeniu ma być pomocna w modelowaniu układów naturalnych (fizyka, biologia, ekologia itp.), natomiast *IThink* do modelowania systemów społecznych (ekonomia, zarządzanie, socjologia, itp.). Oba programy obecnie dostępne są na komputerach Macintosh i PC w środowisku Windows.

Więcej informacji u producenta:

*High Performance Systems*

45 Lyme Road Suite 300

Hanover NH 03755

Phone: 603 643 9636

Fax: 603 643 9502

E-mail: support@hps-inc.com

WWW: <http://www.hps-inc.com/>

### 3. *PowerSim*

W połowie lat osiemdziesiątych dzięki wsparciu finansowemu rządu norweskiego prowadzony był projekt mający na celu poprawienie kształcenia studentów na poziomie szkół wyższych przy wykorzystaniu Dynamiki Systemów. Wynikiem tego projektu opracowano *Mosaic*, obiektowo zorientowanego systemu pomocny w budowaniu gier symulacyjnych dla edukacji. Opracowany na bazie *Mosaic* język symulacyjny *PowerSim* dla Windows umożliwia budowanie modeli dynamiki systemów i opracowywanie pakietów interaktywnych gier lub środowiska edukacyjnego (*learning environments*).

Adres producenta:

**POWERSIM AS**

PO Box 206, Knarvik Senter

5100 ISDALSTOE

NORWAY

Phone: 47 5634 2400

Fax: 47 5634 2401

Email: powersim@powersim.no

WWW: <http://www.powersim.no>

W Stanach Zjednoczonych:

**POWERSIM CORPORATION**

12030 Sunrise Valley Drive, Suite 300

Reston, VA 22091

USA

Phone: (703) 391-2779

Fax: (703) 391-2768

Email: powersim@powersim.com

WWW:<http://www.powersim.com>

#### 4. *Vensim*

Powstał w połowie lat osiemdziesiątych na użytek projektów konsultacyjnych, komercyjnie dostępny w 1992 roku. Jest to interaktywne środowisko do budowania modeli dynamiki systemów oraz ich analizy. Może być uruchamiany w środowiskach Windows, Windows NT oraz Macintosh.

Producent:

*Ventana Systems, Inc.*

149 Waverley Street

Belmont MA 02178

Phone 617 489 5249

Fax: 617 489 5316

Email: [vensim@world.std.com](mailto:vensim@world.std.com)

WWW: <http://www.std.com/vensim>

#### 5. Inne dostępne języki.

Oprócz czterech powyższych, chyba najbardziej popularnych, języków *Dynamiki Systemów* istnieje kilka równie interesujących, jak np. MADONNA, czy DYSMAP opracowany na University of Salford, UK, który ma podobną składnię jak *DYNAMO* oraz dodatkowo ma wbudowane też procedury optymalizacyjne.

Innym mniej znanym językami są *Microworld Creator* i *S^4*, Microworlds Inc., Cambridge MA, USA. Łatwe w użyciu również do tworzenia gier symulacyjnych.

## Dodatek 2.

**Lista kursów z zakresu Dynamiki Systemów prowadzonych w różnych ośrodkach na świecie**

Poniższa lista kursów z pewnością nie jest pełną, daje jednak pogląd o spektrum zastosowań Dynamiki Systemów w kształceniu na poziomie uniwersyteckim.

Adres uczelni	Prowadzący zajęcia	Tytuły kursów
University of Split Maritime Faculty Split Split, 21000, Croatia	Prof.Dr.Sci. Ante Munitic Department: Maritime Faculty	1. Management Process Modelling 2.Vessels Propulsion Automatization
M. M. M. Engineering College Gorakhpur, 273010, India	Dr. A. K. Bajpai Department of Mechanical Engineering	1. Data Processing and Computer Programming 2. CAD/CAM
Kyushu International University, 1-21-16-101 Moritsune-honmachi Kokura-minamiku Kitakyushu 803, Japan	Prof. Hironori Kurono Department of Economics	Introduction to System Analysis
Soka University 1-236, Tangicho Hachioji-shi, Tokyo 192	Yoichi Kodama The Institute for System Science	1. Biology Dynamics 2. System Dynamics and Computer
National Sun Yat-Sen University P.O. Box 59-35 Kaohsiung, Taiwan 80424	Showing Young Assoc. Professor Department of Management	1. System Dynamics 2. Special Topics in System Dynamics 3. Seminar in System Dynamics
Tech. Univ. of Denmark Building 309 2800 Lyngby, Denmark	Christian Kampmann Post-Doctoral Fellow Department of Physics	1. Dynamic Simluation of Complex Systems 2. System Dynamics for Business Policy 3. Individual Student Projects
Universitat Stuttgart Abteilung IV Keplerstrabe 17 70174 Stuttgart, Germany	Prof. Dr. Erich Zahn Department of Business Administration	1. System Dynamics Introduction and Exercises 2. System Dynamics Advanced Studies
University of St. Gallen Dufourstr. 48 CH-9008 St. St. Gallen, Switzerland	Dr. Markus Schwaninger Professor Department of Management	1. Doctoral Seminar on Systems Methodologies 2. Modelling and Simulation with System Dynamics I 3. Modelling and Simulation with System Dynamics II
Universidad de Valladolid Francisco Menoizobal, 1 Valladolid, 47014 Spain	Prof. Dose Perez Rios Department of Economy and Business Adm.	Pensamiento Sistemico y Modelado Estrategico
Cranfield University Shrivenham Wiltshire SN6 8LA United Kingdom	Geoff Coyle Professor	System Dynamics

London School of Economics and Political Science Houghton Street London WC2A 2AE United Kingdom	Dr. David C. Lane Department of Operational Research	1. System Dynamics Modelling 2. Operational Research 3. Decision Science
Bogazici University Bebek 80815 Istanbul, Turkey	Yaman Barlos PhD, Professor Department of Industrial Engineering	1. Dynamics of Socio-Economic Systems 2. Advanced Systems Modeling 3. Systems Approach & Applications in Management.
Victoria University of Wellington Faculty of Commerce & Administration P.O. Box 600 Wellington, New Zealand	Dr. Bob Cavana Management Group	1. Policy Modelling 2. Strategic Modelling 3. Systems Thinking & Strategic Modelling
Universite Laval Fac. Des Sciences de l'admin Ste-Foy, QC, G1K 7P4 Canada	R. Joel Rahn Professor Department of Operations Et Systemes de Decision	Simulation de Systemes
Worcester Polytechnic Institute 100 Institute Road Worcester, MA 01609-2280 USA	Michael J. Radzicki Assoc. Professor of Economics Department of Social Science and Policy Studies	1. Introduction to Economic Systems 2. Dynamic Modeling of Economic & Social Systems 3. Undergraduate Thesis
Fairleigh Dickinson University Teaneck, NJ 07666 USA	Richard Bronson Professor Department of Computer Science and Information Systems	Modeling and Simulation of Continuous Systems
George Washington University Washington DC 20052, USA	Prof. Rolf Clark Department of Operations Research	1. System Dynamics & Policy Analysis I 2. System Dynamics & Policy Analysis II
University of California Davis, CA 95616 USA	Prof. Paul Craig Department of Applied Science	Energy Society & The Environment
National Defense University 135 Marshall Hall Washington D.C., 20319-6000 USA	Prof. John H. Saunders Department of Information Technology	System Dynamics
School of Business University of Southern Maine Box 9300, 96 Falmouth St. Portland, ME 04101-9300 USA	Jogn Voyer Assoc. Prof Department of Business Administration	Introduction to System Dynamics
University of Vermont P.O. Box 7 Fairfield, Vermont 05455 USA	Rolfe Stanley Professor of Geology Department of Geology	1. Systems Dynamics in the Earth Sciences 2. Structural Geology 3. Principle of Aquatic System

Dartmouth College Physiology HB 7700 Dartmouth Medical School Lebanon, NH 03756 USA	J. Andrew Daubenspeck Professor of Physiology ADJ Prof. Biomedical Engineering Thayer School of Engineering	Principles of Systems Dynamics
Center for Social and Organizational Learning 2033 K Street NW, Suite 23D Washing D.C., 20052 USA	Stuart A. Umpleby Professor Department of Management Science	System Dynamics Modelling

Dodatek 3.

## **Dynamika Systemów w zarządzaniu i w ekonomii**

### *Modele w zarządzaniu*

Coyle, R. G. 1977. *Management System Dynamics*. New York: John Wiley & Sons.

Książka zawiera wiele przykładów zastosowania Dynamiki Systemów do modelowania procesów zarządzania.

Hall, R. I. 1976. A System Pathology of an Organization: The Rise and Fall of the Old Saturday Evening Post. *Administrative Science Quarterly* 21 (2): 185-211.

Analiza upadku gazety będącej u szczytu swojej popularności jako wynik nieodpowiedniej polityki marketingowej, relacji liczby ogłoszeń i stron edytorskich, polityki cenowej.

Lyneis, J. M., 1980. *Corporate Planning and Policy Design*. Cambridge MA: Productivity Press.

Na początku autor przedstawia prosty model sterowania zapasami, rozszerzając go potem stopniowo dochodzi do modelu całej firmy.

Morecroft, J. D. W. 1984. Strategy Support Models. *Strategic Management Journal* 5 (3): 215-229.

Wykorzystanie modelowania do formułowania strategii na poziomie korporacji. Opisuje rolę modeli dynamicznych w dialogu menedżerów dotyczącym formułowania strategii i późniejszej jej oceny.

Morecroft, J. D. W., D. C. Lane, & P. S. Viita. 1991. Modelling Growth Strategy in a Biotechnology Startup Firm. *System Dynamics Review* 7 (2): 93-116.

Opisuje w jaki sposób modelowanie przy pomocy Dynamiki Systemów może pomóc w określeniu pożądanej strategii rozwoju firmy wchodzącej na nowy, szybko rozwijający się rynek.

Merten, P. P. 1991. Loop-Based Strategic Decision Support Systems. *Strategic Management Journal*, 12: 371-382.

Opisuje model firmy wielonarodowej inicjującej powstanie nowego rynku w krajach mniej rozwiniętych gospodarczo. Rozpatruje zmiany jakościowe struktury firmy i jej organizacji w miarę jej rozwoju.

Roberts, E. B., ed. 1978. *Managerial Applications of System Dynamics*. Cambridge MA: Productivity Press.

Przedstawiono obszernie omówienie dawniejszych modeli firm, łącznie z przedstawieniem rysu historycznego i komentarzami praktyków. Praca obejmuje

również zastosowania w kierowaniu procesami B+R, kierowaniu produkcją i zatrudnieniem, oraz inne zastosowania.

### Modele ekonomiczne

Sterman, J. D. 1985. A Behavioral Model of the Economic Long Wave. *Journal of Economic Behavior and Organization* 6 (1): 17-53.

Przedstawiono prosty model powstawania długich fal rozwoju gospodarczego. Model ten stał się podstawą bardzo popularnej gry STRATEGEM-2..

Saeed, K. 1986. The Dynamics of Economic Growth and Political Instability in the Developing Countries. *System Dynamics Review* 2 (1): 20-35.

Pokazano jak w modelu uwzględniającym wzajemne oddziaływania czynników społeczno-politycznych w sytuacji szybkiego rozwoju gospodarczego, powstawać mogą sytuacje prowadzące do niestabilności społecznej i politycznej.

Sterman, J. D. 1986. The Economic Long Wave: Theory and Evidence. *System Dynamics Review* 2 (2): 87-125.

Ciekawy opis teorii fal długich jaka może wynikać z Modelu Gospodarki Narodowej (*System Dynamics National Model*). Pokazano w jaki sposób sprzężenia zwrotne mogą doprowadzić do powstawania długich fal w rozwoju gospodarczym. Przedstawiono rolę innowacji w tym procesie.

Forrester, J. W. 1989. The System Dynamics National Model: Macrobehavior from Microstructure; w *Computer-Based Management of Complex Systems: International System Dynamics Conference*, ed. P. M. Milling & E. O. K. Zahn. Berlin: Springer-Verlag.

Przedstawiono opis modelu rozwoju gospodarki narodowej w których uwzględniono zarówno czynniki mikro- jak i makroekonomiczne. Pokazano jak w tym modelu pojawiają się takie zjawiska jak cykle, inflacja, stagflacja, długie fale rozwoju.

Sterman, J. D. 1989. Deterministic Chaos in an Experimental Economic System. *Journal of Economic Behavior and Organization* 12: 1-28.

Zastosowano model przedstawiony w 1985 roku do modelowania decyzji inwestycyjnych pokazano w jaki sposób decyzje mogą wpływać na pojawienie się tzw. deterministycznego chaosu.

Ruth M., Hannon B., 1997, *Modeling Dynamic Economic Systems*, New York: Springer.

W książce (do której dołączony jest CD-ROM) opisano wiele modeli obrazujących dynamiczne zachowanie się systemów gospodarczych. Przedstawiono metody modelowania systemów gospodarczych, budowy modeli firm, sterowania zasobami, itp.