

Tomasz Kopczewski
Uniwersytet Warszawski

Ekonomia złożoności. Zastosowanie modelowania *Agent-based Computational Economics* w nauczaniu zdalnym

*Celem niniejszego artykułu jest pokazanie możliwości zastosowania modelowania *Agent-based Computational Economics* (ACE) oraz programu NetLogo w nauczaniu ekonomii. Przedstawiono w nim trudności z uwzględnieniem złożoności w klasycznych modelach ekonomicznych oraz zaprezentowano symulację ACE jako alternatywę dla tradycyjnej ekonomii oraz nowe narzędzie dydaktyczne.*

Współczesna ekonomia coraz częściej odchodzi od mechanistycznej wizji gospodarki na korzyść podejścia biologicznego, w którym gospodarka traktowana jest jako system złożony i dynamiczny. Za zmianami w naukach ekonomicznych nie podążają jednak zmiany w jej nauczaniu. Modele ekonomiczne, stanowiące podstawę nauczania ekonomii, są statyczne, relatywnie proste a jednocześnie – co paradoksalne – intensywne obliczeniowo. Aby oddać złożoność relacji ekonomicznych, można modele te jeszcze bardziej rozbudowywać, co nie gwarantuje niestety znaczącej poprawy ich właściwości wyjaśniających, lecz zwiększa jeszcze bardziej ich złożoność obliczeniową.

Postulat uwzględnienia złożoności w ekonomii w modelach klasycznych jest trudny do zrealizowania i tym bardziej do nauczania. Można jednak radykalnie zmienić podejście do modelowania ekonomicznego – zamiast formalnych modeli używając metod symulacyjnych, opartych na prostych założeniach, lecz generujących bardzo złożone wyniki. Takie podejście zaproponował już John von Neumann, który widział w symulacjach komputerowych (automaty komórkowe) jedno z najbardziej obiecujących narzędzi analizy zjawisk ekonomicznych. Później idea ta została przekształcona w modelowanie *Agent-based Computational Economics* (ACE), które obecnie jest jedną z nowych i najszybciej rozwijających się gałęzi ekonomii.

Rozwój oprogramowania symulacyjnego ACE z jednej strony nakierowany był na efektywność algorytmów, a z drugiej strony na wizualizację procesów ekonomicznych i łatwość tworzenia symulacji, a jego dalsze udoskonalanie sprzyja wykorzystaniu modeli symulacyjnych w nauczaniu ekonomii.

Ekonomia złożoności

Obecnie uwzględnienie złożoności w naukach ekonomicznych jest bardziej zbiorem postulatów niż codzienną praktyką badań naukowych. Najbardziej radykalne postulaty dotyczące reformy ekonomii jako nauki i uwzględnienia jej złożonego charakteru były wysuwane przez studencki ruch uczelni francuskich, próbujący stworzyć podwaliny nowej post-autystycznej ekonomii¹. Niestety, jeżeli przyjrzeć się działalności tej grupy, to jej głównym problemem był typowo rewolucyjny charakter. Propozycje zrezygnowania z ekonomii opartej na paradygmacie *homo oeconomicus*, szerszego otwarcia się jej na inne nauki społeczne oraz pozbycia się matematyki jako narzędzia ucieczki od realnych problemów na rzecz świata wymyślanego (autystycznego) były dosyć ciekawe, ale ruch ten nie przełożył swoich pomysłów na solidny program badawczy.

Wieszczenie końca modeli racjonalnego agenta jest bardzo chwytliwe medialnie², ale nie można ich zrealizować w sposób rewolucyjny. Ewolucja nie jest tak bardzo spektakularna, ale jej wyniki są już widoczne w badaniach. Dzięki wprowadzeniu eksperymentów – postulat ekonomii behawioralnej, aby włączyć do modeli ekonomicznych założenia ograniczonej racjonalności, został zrealizowany po latach przez ekonomię ortodoksyjną i wykorzystany do tworzenia modeli w skali mikro i makro³.

Niestety uwzględnienie nowych postulatów w ortodoksyjnej teorii ekonomii trwa dość długo. Podstawy metodologiczne tej zmiany są dopiero tworzone i nie należy się spodziewać, że znacząca zmiana nastąpi w krótkim czasie. Dlaczego zmiany w ekonomii są tak powolne? Można znaleźć wiele czynników, ale jednym z kluczowych jest pewnego rodzaju obawa przed złożonością. Ekonomia chce uchodzić za najbardziej naukową z nauk społecznych, stąd też przejęła w znacznym stopniu z formalizmu matematycznego sposób budowy modeli ekonomicznych opartych na podejściu aksjologicznym⁴. Matematycy po twierdzeniu Gödela porzucili chęć zbudowania zamkniętego, pełnego systemu matematycznego, ekonomiści natomiast taki system ekonomiczny próbują tworzyć nadal.

Można jednak pójść na skróty i wyłożyć złożoność ekonomii poprzez zastosowanie symulacji komputerowych. Prekursorem takiego podejścia był wspomniany John von

¹ Więcej na temat tego historii tego ruchu można przeczytać na stronie <http://www.paecon.net/HistoryPAE.htm>, [30.10.2011].

² E. Bendyk, *Śmierć człowieka ekonomicznego*, „Polityka” nr 45 (2730), z dnia 07.11.2009, s. 40–42.

³ R. Frydman, M. Goldberg, *Ekonomia wiedzy niedoskonałej*, Wydawnictwo Krytyki Politycznej, Warszawa 2009.

⁴ E.R. Weintraub, *How Economics Became a Mathematical Science*, Duke University Press, 2002.

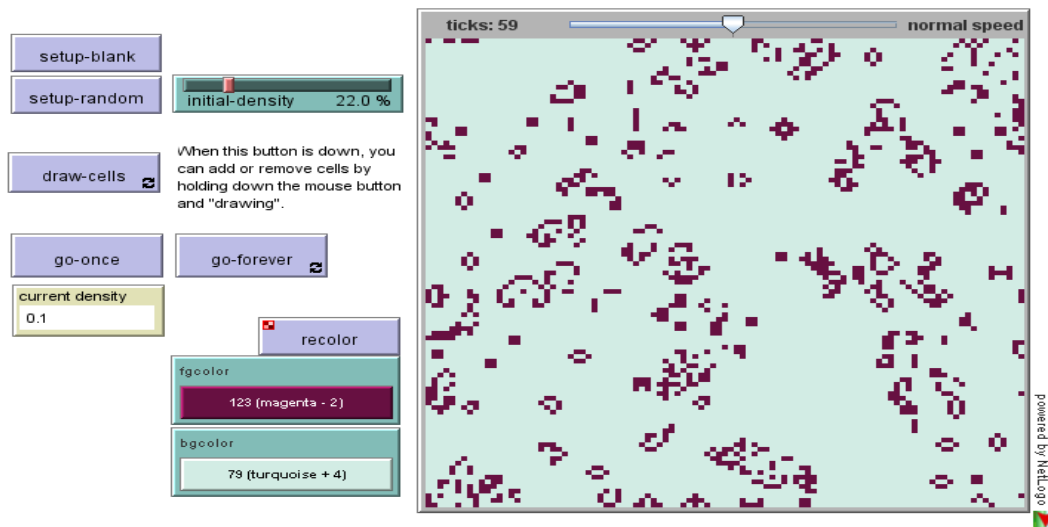
Neumann, którego dwie z trzech propozycji stały się podstawą współczesnej ekonomii⁵. Zaproponowany przez niego model wzrostu stał się zaczątkiem ekonomii aksjologicznej i modeli równowagi ogólnej. Wydana wraz z Oskarem Morgensternem w 1944 roku publikacja *Theory of Games and Economic Behavior* dała podstawy teorii gier oraz teorii wyboru w warunkach ryzyka. Propozycja stworzenia symulacyjnej ekonomii von Neumanna nie została jednak przyjęta przez ekonomistów, gdyż odrzucała podejście aksjologiczne, co nie było zrozumiałe w chwili, gdy podejście to zdobywało dominującą pozycję w teorii ekonomii.

Pomysł ten był rozwinięciem idei symulowania złożonych systemów dynamicznych przez automaty komórkowe – modele matematyczne, w których każda komórka może przyjmować określony dla siebie stan i działa według określonej dla siebie reguły – funkcji przejścia. Komórki działają synchronicznie (model dyskretny), niezależnie i w określonej przestrzeni (siatce). Jedną z najbardziej znanych wizualizacji automatów komórkowych jest gra o życie wymyślona przez Johna Conwaya⁶, w której komórki mogą znajdować się w jednym z dwóch stanów (martwa, żywa). Reguła zmiany stanu jest następująca: komórka martwa staje się żywa, gdy otaczają ją dokładnie trzy komórki żywe, pozostaje martwa w innych przypadkach. Komórki żywe pozostają żywe, gdy otaczają ją dwie lub trzy żywe komórki, w innych przypadkach umiera z powodu odosobnienia lub zatłoczenia. Bardzo proste reguły działające lokalnie dają bardzo skomplikowane zachowanie całego systemu (rysunek 1).

⁵ Ph. Mirowski, *Machine Dreams. Economics Becomes a Cyborg Science*, Cambridge University Press, Cambridge 2002.

⁶ Pomysł ten został rozpropagowany w artykule M. Gardnera, *Mathematical Games*, „Scientific American” 1970, t. 223, nr 4, s. 120–123.

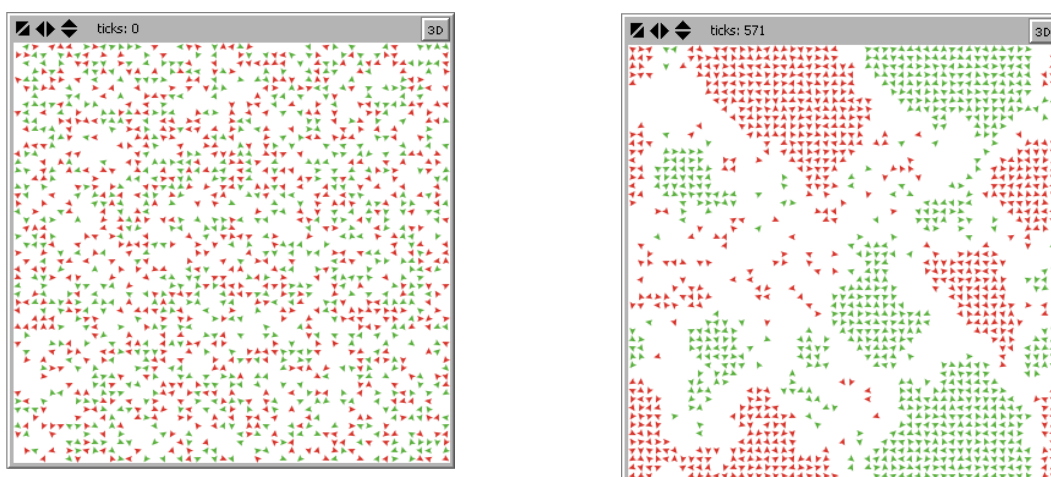
Rysunek 1. Gra o życie



Źródło: U. Wilensky, *NetLogo Life model*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1998, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Life>, [20.10.2011]

Ten sposób modelowania dynamicznych systemów złożonych został wraz z rozwojem komputerów rozwinięty do postaci modelowania agentowego i zaimplementowały w naukach społecznych. Jedną z najstarszych i najbardziej znanych implementacji jest model Schellinga⁷ (rysunek 2).

Rysunek 2. Model segregacji Schellinginga



Źródło: U. Wilensky, *NetLogo Segregation model*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston 1997, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Segregation>, [20.10.2011]

⁷ T.C. Schelling, *Dynamic Models of Segregation*, „Journal of Mathematical Sociology” 1971, nr 1, s.143–186.

Wyjaśniono w nim tworzenie się w miastach segregacji rasowej (etnicznej), która nie była wynikiem silnych uprzedzeń rasowych. Okazało się, że wystarczy, aby jednostki minimalnie preferowały jako sąsiadów jednostki im podobne oraz miały możliwość zmiany miejsca zamieszkania, aby ich z pozoru chaotyczne dziania prowadziły w kilku iteracjach do stworzenia wyodrębnionych struktur przestrzennych – sąsiedztw, które zamieszkałe są jedynie przez podobne do siebie jednostki.

Wykorzystanie ACE w ekonomii

Modelowanie agentowe w zastosowaniach ekonomicznych rozwinęło się jako wspomniany odrębny dział ekonomii: *Agent-based Computational Economics* (ACE)⁸. Opiera się ona na symulowaniu działań pojedynczych agentów ekonomicznych, którzy kierują się prostymi regułami decyzyjnymi, wchodzą w interakcje między sobą i wpływają na zachowania innych agentów. W obliczeniowym świecie agentami mogą być zestawy danych lub reguł decyzyjnych reprezentujących zachowania:

- jednostek, takich jak konsumenci, producenci lub członkowie danych społeczności czy instytucji,
- grup społecznych (rodziny firmy społeczności lokalne, agencje rządowe),
- instytucji (rynki, systemy kontroli i regulacji),
- jednostek biologicznych (rośliny, zwierzęta, uprawy, lasy),
- jednostek fizycznych (regionów geograficznych, pogody, infrastruktury technicznej).

Agenci mogą być zróżnicowani pod względem ich interakcji z otoczeniem: od aktywnych, podejmujących samodzielne decyzje i uczących się, wpływających na warunki środowiska, w którym działają, do biernych składników otoczenia bez funkcji poznawczych jednostek. Mogą być oni składnikami innych agentów i tworzyć strukturę hierarchiczną. Twórca wirtualnego świata obliczeniowego określa jego stan początkowy: agentów, relacje między nimi oraz rodzaje interakcji, w jakie mogą wchodzić. Po uruchomieniu symulacji można śledzić ewolucję tego systemu w czasie. Powtórzenie symulacji przy zmianie początkowych parametrów agentów pozwala na wyodrębnienie czynników, które mają największy wpływ na analizowany układ⁹.

⁸ Jednym z najlepszych miejsc do uzyskania informacji o ACE jest strona Leigha Tesfatsiona, zawierająca zarówno materiały dydaktyczne, jak i zbiór prac naukowych: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>, [30.10.2011].

⁹ L. Tesfatsion, *Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up*, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>, [30.10.2011].

Na podstawie modeli ACE można badać dynamikę systemów złożonych, których modele analityczne nie istnieją lub w przypadku których znalezienie stanów równowagi jest niemożliwe. Można też testować symulacyjnie wprowadzane rozwiązania instytucjonalne i określać, na ile są one dobrze zaprojektowane pod względem ekonomicznym. Główne pola wykorzystywania ACE to efektywność działania rynków, interakcje społeczne oraz wpływ systemu ekonomicznego na zasoby biologiczne.

Wykorzystanie ACE w nauczaniu ekonomii

Modelowanie ACE jest gotowym do użycia narzędziem w nauczaniu ekonomii. Oprogramowanie dostępne do prowadzenia tego typu symulacji jest bardzo proste. Jednak głównym problemem wykorzystania ACE jest problem mentalny związany z zaakceptowaniem ekonomii jako systemu złożonego, którego nie da się zredukować do prostych modeli. ACE nie przypomina mechanistycznej ekonomii opartej na newtonowskim redukcjonizmie i prostych, interpretowalnych warunkach równowagi. W tych modelach wręcz namacalnie odczuwalna jest złożoność, ale dla naukowca nie jest to stan komfortowy¹⁰, bowiem mogą one generować wyniki, których badacz się nie spodziewa, i – co gorsza – nie jest w stanie określić, dlaczego tak się dzieje.

Oprogramowanie NetLogo

NetLogo jest jednym z podstawowych programów do tworzenia modeli ACE¹¹. Pozwala zarówno na tworzenie zaawansowanych modeli symulacyjnych, jak i na wykorzystanie ich w dydaktyce, w szczególności w środowisku sieciowym oraz e-learningowym. Jest połączeniem oprogramowania edukacyjnego Logo i programowania obiektowego, pierwsze kroki w jego używaniu nie wymagają jednak posiadania żadnych podstaw programistycznych – można skorzystać z gotowych symulacji ekonomiczno-społecznych znajdujących się w bibliotece programu.

NetLogo tworzy podczas kompilacji aplet JAVA wraz ze stronami HTML zawierającymi zarówno opis, jak i model symulacyjny. Gotowy model działa niezależnie od oprogramowania i można umieścić go jako zasób na platformie e-learningowej. Program można pobrać za darmo ze strony jego twórcy Uri Wilensky'ego¹².

¹⁰ T. Vicsek, *Complexity: The Bigger Picture*, „Nature” 2000, t. 418, s. 131.

¹¹ Modele ACE mogą być tworzone zarówno w programach dedykowanych – np. Repast, NetLogo, jak i w programach do symulacji numerycznych typu Mathematica czy Matlab – lub być tworzone w językach JAVA, C++.

¹² NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, [30.10.2011].

Podczas zajęć e-learningowych model symulacyjny ACE może zostać wykorzystany na kilka sposobów. Pierwszym – a zarazem najprostszym – jest umieszczenie go jako zasobu dodatkowego do przedstawianych tematów. Ponieważ symulacje można kontrolować przez liczne suwaki i przyciski zmieniające parametry modelu, to prowadzący może zasugerować kilka rodzajów scenariuszy do przetestowania przez studentów. Wnioski z tych symulacji mogą zostać przedstawione na forach tematycznych lub potraktowane jako zadanie domowe.

Drugim sposobem jest wykorzystanie ich podczas wykładów online. W tym przypadku prowadzący może zmieniać *a vista* parametry modeli i omawiać konsekwencje tych zmian. Możliwa jest też interakcja ze słuchaczami, którzy na własną rękę powtarzają symulację wykładowcy i próbują znaleźć własne ustawienia, które wygenerują inne wyniki. Tego typu rozwiązanie wymaga jednak posiłkowania się oprogramowaniem do wideokonferencji. Prowadzący udostępnia widok własnego pulpitu wraz z prowadzoną symulacją. Znaczną wartością dodaną wykorzystania symulacji ACE stworzonych w programie NetLogo jest wizualizacja problemów ekonomicznych – szczególnie dynamiki zjawisk ekonomicznych.

Modelowanie ACE – aspekt konstruktywistyczny

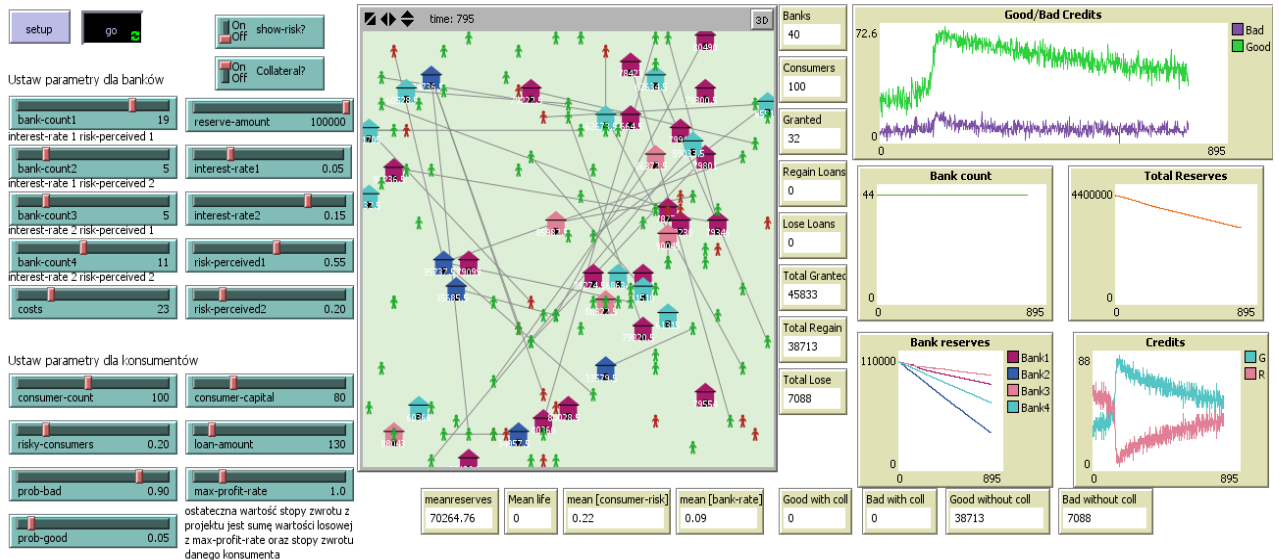
Nauczanie zdalne w dużej mierze korzysta z idei konstruktywizmu społecznego, w którym o efektywności przyswojenia wiedzy decydują dwa składniki: aktywna rola studenta w procesie nauczania i wspólne działanie¹³. Jednak w nauczaniu ekonomii bardzo trudno jest włączyć te dwa składniki do procesu dydaktycznego. Formalne podejście do ekonomii powoduje, że student bardzo często przyjmuje bierną postawę wobec prezentowanych zagadnień. Zarówno sam program NetLogo, jak i filozofia modeli ACE zachęcają studenta do eksperymentowania – konstruowania obliczeniowego społeczeństwa, rynku, gospodarki. Umożliwia on tworzenie modeli symulacyjnych, które dają studentowi możliwość dwojakiego rodzaju aktywności: sprawdzania teorii oraz nauki projektowania mechanizmów ekonomicznych (*mechanism design*).

Ekonomia w coraz większym zakresie wykorzystuje metody eksperymentalne. Modele zachowań konsumentów producentów, rynków mogą być testowane i modyfikowane na podstawie wyników eksperymentów. Niestety podstawowym problemem eksperymentalnego podejścia jest ich skala. Trudno sobie wyobrazić eksperymenty dokonywane na

¹³ L. Tesfatsion, *Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory*, [w:] L. Tesfatsion, K.L. Judd (red.), *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*, Handbooks in Economics Series, North-Holland 2005, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/hbintl.pdf>, [30.10.2011].

funkcjonujących rynkach lub całych gospodarkach. Modele ACE, oprócz stopnia skomplikowania, nie mają tych ograniczeń. Poniżej przedstawiony został interfejs modelu symulacyjnego sektora bankowego (rysunek 3).

Rysunek 3. Symulacja ryzyka kredytowego w sektorze bankowym



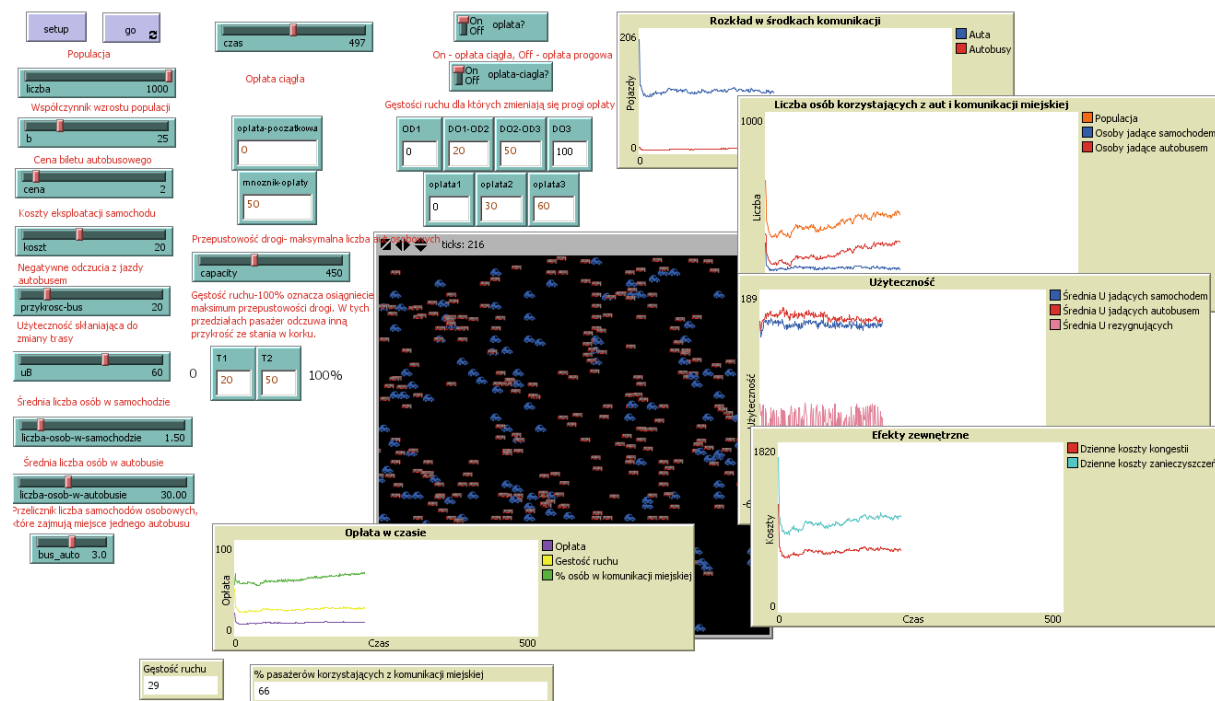
Źródło: M. Kruszyńska, *Konkurencja a ekspozycja na ryzyko w sektorze bankowym*, praca magisterska, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2011

Model ten powstał, aby zweryfikować hipotezę *Quiet Life* Hicksa, według której na zmonopolizowanym rynku banki cechują się mniejszą skłonnością do ryzykowania (*risk averse*) niż na rynku konkurencyjnym. W modelu tym agentami są banki udzielające kredytów oraz klienci banków o różnym stopniu wiarygodności kredytowej. Model teoretyczny, który opisuje tę sytuację, to stochastyczny, dynamiczny model rynku bankowego z asymetrią informacji i procesem agregacji informacji. Stworzenie formalnego modelu tego typu nie jest zdaniem trywialnym. W przypadku ACE wystarczy jedynie zdefiniowanie: agentów, ich charakterystyk i funkcji celu oraz wzajemnych relacji między nimi. Pomimo dużej liczby kontrolowanych parametrów z modelu tego można wyciągnąć bardzo konkretne wnioski dotyczące zachowań banków i ich ekspozycji na ryzyko.

Nagrody im. Alfreda Nobla przyznane Williamowi Vickreyowi (w 1996 roku) oraz Leonidowi Hurowiczowi (w 2007 roku) są dowodem na uznanie *mechanism design* w ekonomii. Jednak nadal traktowanie ekonomisty jako inżyniera, który będzie w stanie przetestować rozwiązania instytucjonalne i system bodźców, jest dosyć odległą wizją. Symulacje ACE pozwalają na tego typu analizy.

Poniżej (rysunek 4) zaprezentowano interfejs symulacji, w której celem było określenie wyników wprowadzenia opłaty zatłoczeniowej w ruchu drogowym, polegającej na uzależnieniu opłaty za przejazd autostradą od zatłoczenia w danej chwili. W tej symulacji celem było określenie, jak opłata ta wpłynie na ogólny dobrobyt społeczny oraz generowanie efektów zewnętrznych. Możliwość testowania kilku form opłaty oraz różnicowania jej stawek w zależności od parametrów drogi może stanowić wprawkę do poważnych analiz związanych z wprowadzaniem opłat za korzystanie z dróg. Na podstawie tak skonstruowanego modelu studenci mogą określać skutki działań regulacyjnych i na zasadzie testowania w tunelu aerodynamicznym konstruować różne rozwiązania instytucjonalne.

Rysunek 4. Symulacja autostrady z opłatą zatłoczeniową



Źródło: A. Skorupińska, *Wykorzystanie systemu zmiennych w czasie opłat w zwalczaniu kongestii*, praca magisterska, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2011

Bardzo ważnym elementem użycia modeli ACE w nauczaniu jest ich wykorzystanie jako podstawy grupowych prac zaliczeniowych. Program NetLogo oparty jest na filozofii oprogramowania edukacyjnego Logo, w którym proces tworzenia symulacji może być prowadzony jako praca wspólna na zasadzie dodawania i modyfikacji założeń początkowych, podobnie jak składanie konstrukcji przy pomocy zestawów klocków. Może być to bardzo ważny składnik nauki pracy zespołowej oraz tworzenia kapitału społecznego podczas zajęć.

Podsumowanie

Chociaż podejście *Agent-based Computational Economics* zawiera bardzo pożądany we współczesnej ekonomii komponent, gdyż modeluje procesy złożone i dynamiczne, to jeszcze długo będzie traktowane jako heterodoksja ekonomii. Przepuszczalnie jednak powoli znajdzie swoje miejsce w głównym nurcie teorii ekonomii, jak się to stało z ekonomią eksperymentalną. Już w tej chwili należy zwrócić uwagę na ACE jako na bardzo ciekawe narzędzie dydaktyczne, dzięki któremu można uwzględniać w przedstawianych modelach dynamikę i złożoność systemów ekonomicznych. I co ważne, dzięki łatwości tworzenia symulacji w oprogramowaniu NetLogo można to zrobić na kursach podstawowych ekonomii.

Bibliografia

- E. Bendyk, *Śmierć człowieka ekonomicznego*, „Polityka” nr 45 (2730), z dnia 07.11.2009.
- M. Brzeziński, *Recenzja książki: P. Mirowski, Machine Dreams: Economics Becomes a Cyborg Science*, „Studia Ekonomiczne” 2006, nr 4.
- M. Brzeziński, *Recenzja książki: E. Roy Weintraub, How Economics Became a Mathematical Science*, „Studia Ekonomiczne” 2003, nr 1–2.
- R. Frydman, M. Goldberg, *Ekonomia wiedzy niedoskonalej*, Wydawnictwo Krytyki Politycznej, Warszawa 2009.
- M. Gardner, *Mathematical Games*, „Scientific American” 1970, t. 223, nr 4.
- M. Kruszyńska, *Konkurencja a ekspozycja na ryzyko w sektorze bankowym*, praca magisterska, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2011.
- Ph. Mirowski, *Machine Dreams. Economics Becomes a Cyborg Science*, Cambridge University Press, Cambridge 2002.
- T.C. Schelling, *Dynamic Models of Segregation*, „Journal of Mathematical Sociology” 1971, nr 1.
- A. Skorupińska, *Wykorzystanie systemu zmiennych w czasie opłat w zwalczaniu kongestii*, praca magisterska, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2011.
- T. Vicsek, *Complexity: The Bigger Picture*, „Nature” 2000, t. 418.
- E.R. Weintraub, *How Economics Became a Mathematical Science*, Duke University Press, 2002.

Netografia

- L. Tesfatsion, *Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up*, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>.
- L. Tesfatsion, *Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory*, [w:] L. Tesfatsion, K.L. Judd (red.), *Handbook of Computational Economics*,

Volume 2: Agent-Based Computational Economics, Handbooks in Economics Series, North-Holland, 2005, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/hbintl.pdf>.

U. Wilensky, *NetLogo Segregation model*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston 1997, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Segregation>.

U. Wilensky, *NetLogo*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston 1999, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

U. Wilensky, *NetLogo Life model*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1998, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Life>.

Abstract

The purpose of this paper is to demonstrate the applications of Agent-based Computational Economics (ACE) models and the NetLogo programming platform in teaching economics. The article presents difficulties with including the complexity of the classical economic models. The ACE simulations are presented as an alternative to the traditional economy and as a new teaching tool.

Nota o autorze

Tomasz Kopczewski jest pracownikiem Wydziału Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego – kierownikiem centrum badawczego Laboratorium Ekonomii Eksperymentalnej. Jego prace badawcze koncentrują się na analizowaniu oddziaływania czynników społeczno-ekonomicznych na wiedzę ekonomiczną lub szerzej – na świadomość ekonomiczną. Jest twórcą nowego podejścia do nauczania mikroekonomii, opartego na metodach eksperymentalnych i obliczeniowych. Od 5 lat prowadzi zajęcia e-learningowe wykorzystujące eksperymenty ekonomiczne.