

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**  
**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I INŻYNIERII**  
**BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ



**AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

(Opracowany w oparciu o wybrane fragmenty rozprawy)

***MODELOWANIE WIELOAGENTOWE WYBRANYCH ZACHOWAŃ***  
***W SYSTEMACH SOCJO-EKONOMICZNYCH***

*CEZARY PISKOR-IGNATOWICZ*

PROMOTOR:

prof. dr hab. inż. Ewa Dudek-Dyduch

KRAKÓW, 2020

## Wstęp

Praca dotyczy tworzenia nowych modeli procesów socjo-ekonomicznych, ich analizy i badań eksperymentalnych. Procesy te, mówiąc bardzo ogólnie, są dynamicznymi procesami (zachodzącymi w układach złożonych), na które mają wpływ dwie podstawowe składowe: ekonomiczna i socjologiczna. Przykładami takich procesów, między innymi, może być powstawanie baniek cenowych i spekulacyjnych, powstawanie mód czy też kształtowanie się cen. **Niniejsza praca będzie poświęcona tworzeniu nowego modelu sieci społecznej i w oparciu o niego nowego modelu procesów kształtowania się cen.**

Składowa ekonomiczna rozważanych procesów mająca wpływ na decyzje zakupowe kupującego, zależy od dostępu do informacji i warunków otoczenia. W szczególności dotyczy to takich własności jak: cena i bezpośrednie koszty pozyskania danego dobra, koszty dodatkowe jak np. czas dojazdu, czy ewentualnie dostępność produktu. Składową tą można by utożsamiać z racjonalnymi działaniami jednostki dążącej do optymalizacji realizowanych celów. Warto w tym miejscu podkreślić, iż różne jednostki mogą odmiennie definiować stawiane sobie cele.

Składowa socjologiczna jest zależna od oddziaływania z innymi jednostkami i może wiązać się z poglądami i wyobrażeniami jednostek, które propagują się w danej społeczności w sposób nie zawsze zależny od aktualnego stanu otoczenia. Należy, bowiem zauważyć, iż propagacja zależy nie tylko od aktualnego stanu otoczenia, lecz często od tego, co się działo wcześniej (kwestia histerezy).

Przykładami typowo socjologicznego aspektu są: “efekt snoba” (ang. snob effect), moda, wybuchy paniki (w postaci wykupywania określonego dobra lub dóbr czy też niekontrolowanej wysprzedaży akcji) czy bojkot (ang. boycott).

Badania procesów socjoekonomicznych, prowadzone są przez badaczy z wielu obszarów, między innymi z ekonomii, fizyki, matematyki oraz sztucznej inteligencji a zwłaszcza kolektywnej inteligencji. Biorąc pod uwagę metodologię badań, można stwierdzić, że jest ona w poszczególnych obszarach odmienna.

Dotyczy to również badań zachowania się uczestników procesów rynkowych ze szczególnym uwzględnieniem procesów ustalania cen.

W dotychczasowych badaniach ekonomiści postulowali racjonalność działań jednostek. Co więcej, decyzje poszczególnych uczestników rynku traktowano, jako niezależne. Naturalną konsekwencją takiego postrzegania rynku były koncepcje o gaussowskim rozkładzie cen, historycznie mające swoje korzenie w pracach Louis’a Bachelier’a. Kolejnym modnym postulatem ekonomii jest pogląd o równowagowym charakterze procesów rynkowych. Z tą bardzo szeroką klasą teorii wiąże się kolejna koncepcja, a mianowicie teoria jednej ceny.

Od tego czasu nauka zrobiła postępy w dwóch obszernych dziedzinach: obszarze informatyki, oraz teorii układów złożonych. Jeśli chodzi o informatykę, to niesamowicie zwiększyła się moc komputerów oraz zostały rozwinięte nowe technologie informatyczne, między innymi modelowanie i symulacje wieloagentowe skutkujące dynamicznym rozwojem kolektywnej inteligencji (Szuba 2011).

Natomiast rozwinięcie teorii układów złożonych, pociągnęło za sobą całkowicie odmiennie metodyki symulacji. W szczególności metodyki te pozwalają na symulacje procesów występujących w złożonych układach, zawierających dziesiątki tysięcy elementów (jednostek). W rezultacie powstała nowa dziedzina nauki o układach złożonych.

W wyniku rozwoju wspomnianych dziedzin nauki dokonała się rewolucja w postrzeganiu świata. Co więcej, dynamiczny rozwój wspomnianych dziedzin pozwala na przeprowadzenie całkowicie nowych badań i zweryfikowanie dawnych hipotez. W szczególności, pozwala na

stworzenie nowych modeli pozwalających bardziej wnikliwie analizować procesy zakupowe. Umożliwia też implementacje tych złożonych modeli z wykorzystaniem nowoczesnych technologii informatycznych i narzędzi oraz pokonanie bariery czasowej w przeprowadzaniu eksperymentów. Przytoczone fakty stanowią przyczynę i inspirację podjęcia przez autora badań przedstawionych w pracy.

## **Teza i cel pracy**

Praca ma dwa zasadnicze, wzajemnie powiązane cele.

Pierwszym jest stworzenie i zbadanie dynamicznego, parametrycznego modelu wybranych aspektów sztucznego społeczeństwa (modelu sztucznej sieci społecznej).

Drugim jest skonstruowanie, na bazie opracowanego modelu sztucznej sieci społecznej, bliższego rzeczywistości modelu współdziałania procesów decyzyjnych kupujących oraz sprzedawców i ostatecznie procesu kształtowania cen, a następnie przeprowadzenie analizy rozkładów rzeczywistych cen w sklepach internetowych i porównanie ich z otrzymanymi z modelu.

W wielu współczesnych modelach ekonomicznych zakładane jest, że obserwowane rozkłady cen mają charakter rozkładu Gaussowskiego. Jest to wynikiem przyjmowanego silnie uproszczonego modelu procesów zakupowych. Zdaniem autora, rozkład cen ma charakter inny niż Gaussowski, mianowicie rozkład ten ma charakter ciężkoogonowy (ang. heavy tailed distribution), jak np. rozkład potęgowy, logarytmiczno-normalny lub rozkład Weibulla. Zbadanie tego charakteru stanowi, zatem istotny cel, jaki postawił sobie autor.

Nowy, zaproponowany w pracy model ma uwzględniać więcej aspektów interakcji zachodzących podczas procesu decyzyjnego dotyczącego zakupów. Model ten jest przeznaczony do symulacji rozkładów cen w sklepach internetowych. Dla stworzenia tego nowego modelu konieczna jest zatem analiza czynników mających wpływ na obserwowane rozkłady cen. Tak więc pierwszym pośrednim celem tej części pracy jest dokonanie analizy czynników mających wpływ na obserwowane rozkłady cen. Drugim, pośrednim celem jest stworzenie modelu agenta wykorzystywanego w wieloagentowym systemie modelującym procesy zakupowe. Model ten następnie został zaimplementowany przez dr. Marka Zacharę.

W konsekwencji, **teza pracy** składa się z dwóch wzajemnie powiązanych części i jest następująca.

**Można wykazać, że obserwowane w sklepach internetowych rozkłady cen nie mają charakteru Gaussowskiego, lecz wskazują na ciężkoogonowy charakter rozkładu w kierunku wyższych cen a także można stworzyć bliski rzeczywistości, wieloagentowy model procesów zakupowych i zweryfikować go poprzez porównanie rozkładów cen rzeczywistych i uzyskanych z modelu.**

## **Koncepcja i badań i zakres pracy**

Koncepcja pracy związana jest z faktem, że jej autor jest fizykiem. Zatem, zarówno terminologia jak i podejście do modelowania układów socjo-ekonomicznych przedstawiane jest w niniejszej pracy w języku oddziaływań w systemach złożonych.

Wychodząc od ogólnego wprowadzenia w układy złożone, charakteryzujemy ich cechy i mówimy, że jako jeden ze sposobów ich reprezentacji można przyjąć sieci złożone.

Następnie opracowano parametryczny, wieloagentowy model sztucznej sieci społecznej (ang. artificial social network), uwzględniający szereg własności i aspektów, które nie były brane pod uwagę we wcześniejszych modelach sieci złożonych opisanych w literaturze.

Zaproponowany model stanowi środowisko dla modelowania szerokiego spektrum sieci złożonych. Praca przedstawia wykorzystanie tego środowiska do modelowania i analizy parametrycznej wybranych zachowań agentów w systemach socjo-ekonomicznych, a w szczególności procesu kształtowania cen.

Dla dalszych badań konieczna była analiza wpływu zmian wartości parametrów modelu na postać tworzonej sieci społecznościowej. Taką analizę eksperymentalną przeprowadzono w kolejnym etapie badań i do dalszych badań wybrano zbiór parametrów modelu, dla których charakterystyka sieci wynikowej jest najbardziej zbliżona do rzeczywistej.

Następnie opracowany został formalny model współdziałania procesów decyzyjnych agentów kupujących i agentów sprzedawców. Pierwszym etapem było zaproponowanie formalnego modelu sprzedawcy i zależności leżących u podstaw jego decyzji ekonomicznych. Kolejnym, zaproponowanie formalnego modelu kupującego oraz sposobu podejmowania decyzji zakupowych uwzględniających preferencje osobowościowe.

Wykorzystując modele obu powyższych typów agentów, szczegółowo przedstawiono parametryczny model współzależności między kupującymi i sprzedawcami. Model ten uwzględnia aspekty socjologiczne.

Ostatnim, istotnym dla potwierdzenia tezy pracy etapem było zbadanie charakteru rozkładów rzeczywistych cen w sklepach internetowych oraz weryfikacja modelu poprzez porównanie rozkładów cen rzeczywistych i uzyskanych z modelu.

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów, bibliografii oraz skorowidzu oznaczeń.

**Zakres pracy** odpowiada przedstawionej logice badań i jest następujący.

Ponieważ każdy układ socjo-ekonomiczny można traktować, jako układ złożony (Allen 2009), dlatego treść **rozdziału drugiego** stanowi bazę dla pokazania, że proces kształtowania się cen jest procesem w odpowiednim układzie złożonym. W rozdziale tym jest przybliżone pojęcie układu złożonego oraz charakterystyka jego własności, takich jak samoorganizacja, synergia, nieliniowość i szereg innych. Podane są i przeanalizowane argumenty wskazujące, że układ wzajemnego oddziaływania kupujących i sprzedających jest socjo-ekonomicznym układem złożonym. Przeanalizowano sposoby modelowania układów złożonych ze szczególnym uwzględnieniem sieci złożonych. Rozdział ten zawiera oryginalne opracowanie autora.

W **rozdziale trzecim** omówiono pojęcie i cechy sieci złożonych, które wykorzystywane są do reprezentowania układów złożonych, w zakresie wykorzystywanym w niniejszej pracy.

**Rozdział czwarty** przedstawia zaproponowany przez autora wieloagentowy, parametryczny model dynamiki rozwoju powiązań w sieci społecznej. Podano tu formalny model agenta uwzględniając cechy osobowości istotne do nawiązywania i utrzymywania kontaktów/przyjaźni. Przedstawiono też sposób modelowania dynamiki rozwoju sieci społecznościowej (jednowarstwowej).

W **rozdziale piątym** opisano przeprowadzone eksperymenty symulacyjne mające na celu analizę wpływu zmian wartości parametrów modelu na postać tworzonej sieci społecznościowej.

**Rozdział szósty** zawiera propozycję parametrycznego dynamicznego modelu współzależności procesów decyzyjnych kupujących i sprzedawców. Podano rozszerzony model agenta kupującego uwzględniający dodatkowe cechy natury psychologicznej istotne dla decyzji o zakupie i wyborze sprzedawcy, model procesów decyzyjnych agentów sprzedawców uwzględniający decyzje dotyczące zmiany cen oraz decyzje dotyczące ewentualnych bankructw. Uwzględniono też możliwości pojawiania się nowych sprzedawców w przypadku koniunktury.

W **rozdziale siódmym** zaprezentowano wyniki analizy danych dotyczących rozkładów cen dziesięciu, losowych produktów z portalu Ceneo.pl, wybranych w ten sposób, by były sprzedawane w przynajmniej kilkunastu, (co najmniej szesnastu) różnych sklepach internetowych.

Celem analizy jest zbadanie charakterystyk rozkładów cen rzeczywistych produktów. Otrzymane wyniki są następnie wykorzystywane do weryfikacji zgodności rozkładów cen uzyskiwanych w modelu Piskor-Ignatowicza-Zachary z rozkładami cen realnych produktów (patrz rozdział dziewiąty).

Dla każdego produktu przetestowano hipotezę o gaussowskim rozkładzie cen, przy użyciu testu Shapiro-Wilka otrzymując niezgodność rozkładu rzeczywistych cen z rozkładem Gaussa. Przetestowano też hipotezy o ciężkoogonowym charakterze rozkładu cen sprawdzając hipotezy, o rozkładach cen typu potęgowego, logarytmiczno-normalnego, wykładniczego oraz Weibulla.

**Rozdział ósmy** zawiera wyniki symulacji przeprowadzonych przy użyciu zaproponowanego przez autora wieloagentowego modelu kształtowania cen w procesach kupna - sprzedaży. Zawiera też porównanie otrzymanych z symulacji wyników z rzeczywistymi rozkładami cen produktów. Porównanie przeprowadzono przy pomocy testu Kołmogorowa-Smirnowa dla dwóch prób (dystrybuant empirycznych) (ang. Two-sample Kolmogorov-Smirnov test).

**Rozdział dziewiąty** stanowi podsumowanie otrzymanych w pracy rezultatów badań oraz zawiera plan dalszych prac badawczych.

## Podsumowanie

Rozprawa dotyczyła modelowania wybranych procesów socjo-ekonomicznych w układach złożonych, a konkretnie procesu kształtowania cen w układzie kupujących i sprzedawców.

Celem pracy było opracowanie dynamicznego modelu ze zindywidualizowanymi agentami - imitującego realne procesy decyzyjne prowadzące do powstania rozkładów cen produktów, takich jak obserwowane w sklepach internetowych.

Zastosowana w pracy metodyka badawcza jest wieloetapowa i składa się z następujących elementów:

- stworzenia modelu sieci zindywidualizowanych agentów mogących w procesie „spotkań” nawiązywać ze sobą więzi,
- przebadania stabilności charakterystyk generowanych w modelu sieci społecznościowych przy ustalonych parametrach oddziaływania agentów w funkcji numeru cyklu symulacji,
- zbadania właściwości (takich jak średni współczynnik klasteryzacji i rozkład stopni wierzchołków) wynikowych sieci społecznościowych w funkcji zmian parametrów modelu,
- doboru parametrów modelu, przy których charakterystyki generowanych wynikowych sieci społecznych będą najbardziej zbliżone do obserwowanych w rzeczywistości,
- analizy statystycznej rozkładów cen konkretnych produktów ze sklepów internetowych,
- stworzenia modelu oddziaływania kupujący-kupujący (bezpośredni przekaz informacji o sprzedawcach w ramach tworzonej przez kupujących sieci społecznej o parametrach imitujących rzeczywistą sieć społeczną) oraz modelu oddziaływania kupujący-sprzedawcy (pośredni przekaz informacji – sprzedawca „widzi” efekty prowadzonej polityki cenowej za pośrednictwem wzrostu lub spadku generowanego zysku)
- porównanie otrzymanych w modelu rozkładów cen z rozkładami cen odpowiednich produktów w sklepach internetowych.

**Zrealizowanie poszczególnych etapów oraz zamieszczone w pracy wnioski z kolejnych, przeprowadzonych badań eksperymentalnych potwierdziły prawdziwość tezy.**

**Za najważniejsze osiągnięcia w pracy uważam:**

1. opracowanie nowego, parametrycznego, dynamicznego modelu sztucznej sieci społecznościowej, powstającej w wyniku niskopoziomowych oddziaływań agent-agent naśladującej powstawanie i zanikanie powiązań pomiędzy agentami bez wykorzystania informacji o globalnych parametrach sieci, a w szczególności

- a) stworzenie nowego, zindywidualizowanego modelu agentów, w którym uwzględniono cechy osobowości takie jak przyjacielskość i profile zainteresowań wpływające na tworzenie przez agenta relacji znajomości (więzi),
- b) uwzględnienie w modelu faktu, że siła relacji znajomości pomiędzy agentami ewoluuje w czasie,
- c) bardziej szczegółowe zamodelowanie procesów spotkań wpływających na powstawanie dynamicznej sieci społecznościowej, poprzez wyróżnienie dwóch składowych spotkań losowej i intencjonalnej pozwalające imitować procesy decyzyjne

**2.** opracowanie i zamodelowanie parametrycznego, dynamicznego modelu współdziałania procesów decyzyjnych agentów kupujących i sprzedających (zawierającego w sobie model sztucznej sieci społecznościowej), a w szczególności:

- a) opracowanie modelu zindywidualizowanych agentów „kupujących”, z których każdy posiada „osobowość” uwzględniając preferencje zakupowe oraz własną pamięć różniącą się ilością możliwych do zapamiętania informacji o sprzedawcach a także dynamiką zapamiętywania-zapominania zależną od „towarzyskiej aktywności” agenta,
- b) zamodelowanie mechanizmu decyzyjnego sprzedawców, uwzględniającego zmiany ich cen i jakości od dynamicznie zmieniającego się zysku
- c) opracowanie pośredniego przekazu informacji od kupujących do sprzedawców poprzez zamodelowanie procesu dynamiki zmian zysków sprzedawców i wzajemnego sprzężenia informacyjno-decyzyjnego pomiędzy oboma klasami agentów.

**3.** wykonanie analizy rozkładów cen dla dziesięciu losowo wybranych produktów w sklepach internetowych

**4.** przeprowadzenie weryfikacji generowanych w modelu rozkładów cen, przy pomocy rzeczywistych rozkładów cen obserwowanych w sklepach internetowych dla omawianych produktów.

**5.** przedstawienie swoich przemyśleń dotyczących tematyki układów złożonych

Autor planuje kontynuację prezentowanych w niniejszej pracy badań, w kierunku analizy i modelowania dynamiki zmian cen produktów, od etapu pojawienia się na rynku, poprzez wzrost sprzedaży aż po zniknięcie z pierwotnego rynku.

Publikacje autora z zakresu prezentowanej w pracy tematyki:

Zachara, Marek, Ewa Majchrzyk-Zachara, and Cezary Piskor-Ignatowicz. 2013. "Simulation of Customers Behaviour as a Method for Explaining Certain Market Characteristic." In *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7770 LNCS:217–36. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36815-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36815-8_10).

Zachara, Marek, and Cezary Piskor-Ignatowicz. 2010. "Analysis of Product Price Distribution and Pricing Policy of Online Merchants." In *Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych*, 659–65.

Zachara, Marek, and Cezary Piskor-Ignatowicz. 2016. "Agent-Based Creation and Simulation of Artificial Social Networks and the Analysis of Their Properties." *Computing in Science & Engineering* 18 (4): 34–41. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2016.46>.

Literatura cytowana w autoreferacie:

Szuba, Tadeusz Ted. 2011. "Importance of the Chaos for Computational Processes of Collective Intelligence in Social Structures." In *Chaos Theory*, 414–22. WORLD SCIENTIFIC. [https://doi.org/10.1142/9789814350341\\_0048](https://doi.org/10.1142/9789814350341_0048).

Allen, Peter M. 2009. "COMPLEXITY IN SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS." In *KNOWLEDGE MANAGEMENT, ORGANIZATIONAL INTELLIGENCE AND LEARNING, AND COMPLEXITY*. Vol. II. EOLSS Publications.