

## Zastosowanie zbiorów przybliżonych do wykrywania reguł zachowania konsumentów na potrzeby wieloagentowego modelu symulacyjnego

Małgorzata Łatuszyńska, Agata Wawrzyniak,  
Barbara Wąsikowska, Fatimah Furaji

*W artykule przedstawiono możliwość zastosowania teorii zbiorów przybliżonych w procedurze tworzenia wieloagentowego modelu zachowania konsumentów. Omówiono symulację wieloagentową, metody gromadzenia i przetwarzania danych na potrzeby modelowania wieloagentowego oraz teorię zbiorów przybliżonych w kontekście wykrywania reguł zachowań konsumentów. Ponadto zaprezentowano przykładowy model symulacyjny zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych, zbudowany z zastosowaniem proponowanej procedury.*

### 1. Wprowadzenie

Sukces firmy oraz satysfakcja jej klientów są bezpośrednio powiązane ze zrozumieniem postępowania konsumenta. Skuteczność działania na rynku zależy bowiem od umiejętności dostosowania się do oczekiwań i zachowań konsumentów, a także antycypowania zmian w tym zakresie, gdyż zmiany te wyznaczają przewidywane kierunki działań marketingowych firmy i wpływają na wybór strategii<sup>1</sup>.

Jedną z metod pozwalających na prowadzenie badań dotyczących przewidywania zachowania konsumentów jest symulacja wieloagentowa. Ważnym etapem w zastosowaniu tej metody jest budowa modelu symulacyjnego. Wiarygodność modelu w dużym stopniu zależy od wierności odzwierciedlenia reguł zachowania się konsumentów określonych na podstawie zgromadzonych danych. Do wykrycia owych reguł możliwe jest zastosowanie teorii zbiorów przybliżonych.

Celem artykułu jest zaprezentowanie procedury wieloagentowego modelowania symulacyjnego, w której do wykrywania reguł zachowania konsumentów proponuje się wykorzystanie teorii zbiorów przybliżonych. W artykule przedstawiono – na tle dotychczasowych kierunków zastosowań w badaniach zachowań konsumentów – symulację wieloagentową, metody gromadzenia i przetwarzania danych na potrzeby modelowania wieloagentowego oraz

teorię zbiorów przybliżonych. Ponadto zaprezentowano przykładowy model symulacyjny zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych zbudowany z zastosowaniem proponowanej procedury.

## 2. Wieloagentowa symulacja w badaniu zachowania konsumentów

Początki symulacji wieloagentowej (*Multi Agent Based Simulation – MABS*) można wywieść od takich dyscyplin jak: systemy adaptacyjne (*complex adaptive systems*), teoria złożoności (*complexity science*) i teoria systemów (*system science*).

W symulacji wieloagentowej badany układ jest modelowany jako zbiór autonomicznych jednostek, zwanych agentami. W modelu wieloagentowym opisuje się procesy decyzyjne w mikroskali, dla każdego agenta z osobna. Z połączenia działań wielu agentów i ich interakcji ze sobą nawzajem oraz ze środowiskiem, w którym funkcjonują, powstaje obraz badanego zjawiska w makroskali (Siebers i Aickelin 2008).

Różne dyscypliny wypracowały własne sposoby pojmowania terminu „agent”. Powszechnie akceptuje się, że agent jest umiejscowiony w pewnym środowisku i jest zdolny do podejmowania autonomicznych akcji (Bieniasz 2006; Wooldridge 1999, 2002; Frank, Bittner i Raubal 2001). Niektórzy autorzy uważają, że agentem jest każdy typ niezależnych komponentów (program komputerowy, model, jednostka, konsument itd.) (Bonabeau 2002), przy czym zachowanie niezależnego komponentu może być opisywane w różny sposób – od prymitywnych reguł decyzyjnych po bardzo skomplikowane adaptacyjne reguły sztucznej inteligencji. Inni utrzymują, że zachowanie niezależnego komponentu musi być adaptacyjne, aby mógł być nazwany agentem. Miano agenta jest zarezerwowane dla komponentów, które w pewnym sensie uczą się swojego środowiska i na skutek tego uczenia zmieniają swoje zachowanie. J. Casti (1997) argumentuje, że agent powinien zawierać zarówno reguły niższego rzędu, opisujące zachowanie, jak i zbiór reguł wyższego rzędu, determinujących zasady zmiany reguł. Reguły niższego rzędu opisują reakcję na środowisko, natomiast reguły wyższego rzędu opisują zasady adaptacji.

Z praktycznego punktu widzenia można założyć, że agent posiada następujące cechy (Macal i North 2006): (1) jest identyfikowalną jednostką posiadającą pewien zbiór cech i reguł zarządzających jej zachowaniem się i możliwościami decyzyjnymi; (2) jest umiejscowiony w środowisku, w którym współdziała z innymi agentami; (3) jego działanie może być skierowane na osiągnięcie określonego celu; (4) jest autonomiczny, może funkcjonować niezależnie w swoim środowisku i w kontaktach z innymi agentami, przynajmniej w zakresie pewnych zdefiniowanych sytuacji; (5) jest elastyczny, posiada zdolność do uczenia się i adaptacji. Założenia te w sposób szczególnie predestynują symulację wieloagentową do zastosowań w badaniu zacho-

wania konsumentów, gdyż może ukazywać jak z działań wielu agentów, identyfikujących konsumentów indywidualnych lub organizacyjnych, powstają zagregowane zjawiska marketingowe.

W ostatnich kilkunastu latach opublikowano sporo opracowań naukowych przedstawiających przypadki wykorzystania symulacji wieloagentowej w omawianym obszarze. Dotyczą one bardzo często zachowań konsumentów w kontekście dyfuzji innowacji, np. Watts (2002), Shaikh i in. (2005), Watts i Dodds (2007), Rahmandad i Sterman (2008), Toubia i in. (2008), Goldenberg i in. (2009) czy Delre i in. (2010). Inny kierunek zastosowań odnosi się do badań związanych z przyjęciem produktu przez rynek (Goldenberg i in. 2007, 2010). Wiele publikacji przedstawia użycie podejścia wieloagentowego w analizie wpływu pozycjonowania firm na zachowania konsumentów (np. Buchta i Mazanec 2001; Wilkinson i Young 2002; Lusch i Tay 2002, 2004, 2005), niektóre zaś skupiają się na problemie moralnego zachowania w marketingu relacyjnym (np. Midgley, Marks i Cooper 1997, 2006; Hill i Watkins 2007, 2009a, 2009b).

Kolejna ważna płaszczyzna zastosowań podejścia wieloagentowego dotyczy badania trendów zakupowych na określonych rynkach poprzez symulację wyborów wielu indywidualnych konsumentów w celu określenia, jak i dlaczego konsumenci wybierają dany produkt czy usługę. Zastosowania tego typu omawiają: Collings i in. (1999), Brannon i in. (2001), Twomey i Cadman (2002), Wohltorf i Albayrak (2003), Robertson (2003), Kyrilov i Bonanni (2004), Schenk, Löffler i Rauh (2007), Ulbinaitė i Moullec (2010) oraz Kuhn i in. (2010).

Niektóre opracowania ukazują bardziej ogólne rozważania na temat podejścia wieloagentowego w badaniu zachowania konsumentów – np. Jager, Janssen i Vlek (1999), Collings i in. (2000), Ben Said i in. (2002), Janssen i in. (2003), Adjali, Dias i Hurling (2005), Jager (2006), Challet i Krauze (2006), Rigopoulos i in. (2006) oraz Roozmanda i in. (2011). Opisują oni wieloagentowe modele zachowania konsumentów wyprowadzone z teorii marketingu i nauk behawioralnych, a następnie pokazują wyniki kilku eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na podstawie danych rzeczywistych pochodzących z konkretnego rynku. Z kolei North i in. (2010) przedstawiają makromodel pozwalający na symulację zachowań zakupowych na poziomie gospodarstw domowych oraz zachowań biznesowych producentów i sprzedawców na rynku ogólnonarodowym.

Wśród innych opisywanych w literaturze, wartych przytoczenia zastosowań symulacji wieloagentowej do badania zachowania konsumentów można wymienić modele: rzeczywistych supermarketów (Schwaiger i Stahmer 2003; Venables i Bilge 1998), procesu podejmowania decyzji konsumenta o zakupie w kontekście efektu dominacji (*decoy effect*) (Zhang i Zhang 2007) czy efektywności reklam (Cao 1999).

Mimo dość bogatego piśmiennictwa dotyczącego podejścia wieloagentowego w zastosowaniach marketingowych oraz stałego wzrostu jego popular-

ności (o którym może chociażby świadczyć fakt, iż tej tematyce poświęcono cały numer renomowanego czasopisma „Journal of Product Innovation Management” w 2011 r.<sup>2</sup>), niektórzy badacze twierdzą (np. Rand i Rast 2011), że rozwój zastosowań w omawianym obszarze jest ciągle zbyt powolny. Przyczynę tego stanu rzeczy upatrują głównie w braku ogólnie akceptowanych standardów stosowania symulacji wieloagentowej w badaniach marketingowych.

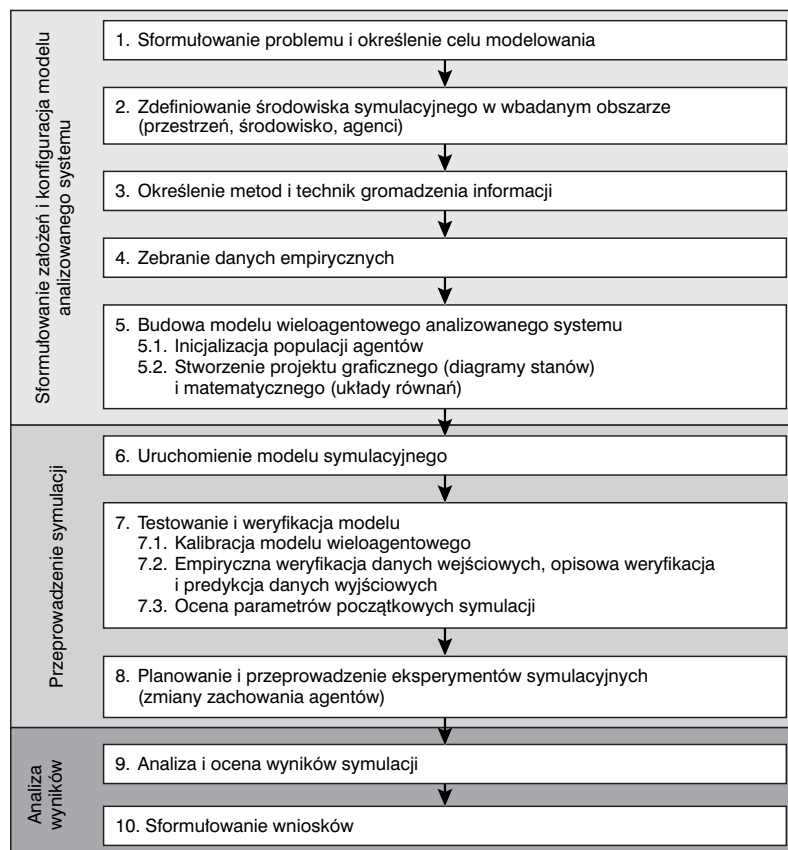
### **3. Metody stosowane do pozyskiwania danych o zachowaniach konsumentów na potrzeby modelowania wieloagentowego**

Posługiwanie się symulacją wieloagentową oznacza przestrzeganie pewnej określonej procedury modelowania (rysunek 1), zaczynającej się od sformułowania problemu i określenia celu. Następnym krokiem jest zdefiniowanie środowiska symulacyjnego w badanym obszarze (w tym przede wszystkim agentów, przestrzeni i środowiska) oraz określenie granic systemu. Następnym krokiem procedury jest związek z zagadnieniem pozyskiwania danych wejściowych do modelu. Dla osoby przeprowadzającej badanie ta część procedury badawczej, która dotyczy określenia metod i technik gromadzenia informacji, jest najważniejsza, ponieważ błędny wybór metody może uniemożliwić osiągnięcie postawionych celów badania.

Metody pomiaru wyodrębnia się zgodnie z kryterium drogi przepływu danych od ich źródła do odbiorcy i w związku z tym, biorąc pod uwagę rodzaj źródeł informacji wykorzystywanych w badaniach, można rozróżnić badania (Pfaff 2010; Kaczmarczyk 2003):

- pośrednie, inaczej nazywane wtórnymi, „zza biurka” (*desk research*),
- bezpośrednie, inaczej nazywane pierwotnymi, w terenie (*field research*).

Badania pośrednie polegają na gromadzeniu, analizie i interpretacji informacji pochodzących ze źródeł wtórnych. Mogą to być zarówno źródła informacji wtórnych wewnętrzne (powstające i znajdujące się w komórkach organizacyjnych podmiotu prowadzącego lub zlecającego badania), jak i zewnętrzne (powstające i znajdujące się w różnego typu organizacjach, są to opublikowane informacje pochodzące ze statystyki masowej organizacji rządowych, resortowych, branżowych, banków, stowarzyszeń, instytutów badawczych). Badania „zza biurka” są stosunkowo tanie, nie są czasochłonne, wyniki analiz można zaś szybko zastosować w praktyce. Badania te mają jednak pewne ograniczenia. Ich prowadzenie wiąże się z wyszukiwaniem właściwych źródeł (występuje tu problem dostępności i wiarygodności) oraz oceną aktualności i precyzyjności dostępnych informacji. Badania bezpośrednie (badania w terenie) polegają na gromadzeniu informacji w terenie, czyli z pierwotnych źródeł informacji. W ich ramach badacz sam określa rodzaj informacji, które są mu potrzebne do rozwiązania postawionego problemu, oraz sposób ich pozyskania. Informacje pozyskane w ten sposób odpowiadają dokładnie specyficznemu problemowi badawczemu.



Rys. 1. Procedura modelowania wieloagentowego. Źródło: opracowanie własne.

W literaturze i praktyce rozróżnia się trzy podstawowe rodzaje pomiarów: pomiar wtórny oparty na źródłach wtórnych, a także pomiar pierwotny sondażowy (*survey research*) oraz pomiar w formie eksperymentu – oba oparte na źródłach pierwotnych (obszerny przegląd metod gromadzenia danych ze źródeł wtórnych i pierwotnych zawarty jest w pracach (Kaczmarczyk 2003; Kędzior i in. 2005; Pfaff 2010). Należy w tym miejscu podkreślić, że istnieją problemy, których rozwiązanie za pomocą danych pochodzących jedynie ze źródeł wtórnych jest niemożliwe. Zazwyczaj dane te (o ile w ogóle są dostępne) mają bardzo ogólną postać i rzadko mogą być wprost wykorzystane do rozwiązania konkretnych problemów badawczych. Powstaje w takiej sytuacji potrzeba przeprowadzenia dwóch pozostałych rodzajów pomiaru pierwotnego: sondażowego i eksperymentalnego.

Pomiary sondażowe dzieli się na pośrednie (bezosobowe) i bezpośrednie (kryterium podziału jest tu sposób komunikowania się badacza z respon-

dentem). Metody pośrednich pomiarów sondażowych to wszelkiego rodzaju ankiety wypełniane samodzielnie przez respondenta, bez pomocy ankietera (ankieter może w nich brać udział w sposób pośredni). Metody bezpośrednich pomiarów sondażowych wymagają udziału ankietera i są to różnego rodzaju wywiady, w tym także wywiady telefoniczne. Pomiarów bezpośrednich realizowanych są w różnych miejscach: w mieszkaniach respondentów, w firmach, w centrach handlowych, w sklepach, na wystawach, na targach, na konferencjach, na placach budów, w urzędach itp. Metody pomiaru sondażowego różnią się między sobą stopniem anonimowości i kontroli pomiaru. Z przeglądu literatury dokonanego przez autorki artykułu wynika, że najczęściej stosowanymi metodami gromadzenia danych w badaniach zachowania konsumentów są metody ankietowe, wywiady, obserwacje oraz metody projekcyjne (Burns 2000; Lancaster 2005; Kaczmarczyk 2003).

Ankieta jest najbardziej powszechną i najczęściej stosowaną metodą gromadzenia danych w badaniach marketingowych i stanowi zbiór standaryzowanych technik badawczych, za pomocą których badacz otrzymuje informacje w procesie wzajemnego komunikowania się z innymi osobami odpowiadającymi pisemnie na jego pytania. Narzędziem pomiarowym stosowanym w metodzie jest zawsze kwestionariusz wypełniany przez respondenta. Metoda ankietowa wykształciła wiele szczegółowych technik badawczych, które biorą swoje nazwy od sposobu rozprowadzenia narzędzia pomiarowego wśród badanych (por. tabela 1). Do zasadniczych cech technik ankietowych zalicza się: pisemną formę komunikacji, brak pośrednictwa ankietera (ankieter występuje czasem w roli osoby rozprowadzającej kwestionariusze wśród badanych) oraz samodzielne wypełnianie kwestionariusza ankietowego przez respondenta (Kędzior i in. 2005). Ankiety, podobnie jak inne techniki badawcze, mają swoje zalety i wady (tabela 1), a możliwości ich wykorzystania zależą od wielu czynników. Wybór najlepszej metody dotarcia do respondentów zależy w znacznym stopniu od rodzaju informacji, które chce zgromadzić badacz, od liczby i rodzajów respondentów, którzy powinni wziąć udział w badaniu.

Na podstawie zebranych danych można przystąpić do konstruowania modelu wieloagentowego analizowanego systemu. W badaniach zachowań konsumentów, w których stosowane jest podejście wieloagentowe, dane empiryczne dotyczące charakterystyk poszczególnych konsumentów i ich wzajemnych interakcji są wykorzystywane do formułowania reguł zachowań agentów działających w symulowanym środowisku. Punktem wyjścia w przeprowadzaniu symulacji wieloagentowych jest inicjalizacja pewnej populacji agentów. Mogą oni reprezentować podmioty ekonomiczne oraz inne społeczne zjawiska. Inicjalizacja polega na określeniu wartości atrybutów agentów (ich wewnętrznych stanów), reguł zachowań (również reguł ewentualnych modyfikacji tych zachowań w trakcie symulacji, tzn. uczenia) oraz zasad komunikacji między nimi.

Niestety dane pochodzące z sondaży nie mogą dostarczyć bezpośrednich informacji możliwych do zastosowania w procesie tworzenia agentów.

Zalety	Ograniczenia
<p><b>Ankieta pocztowa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- możliwość pomiaru dużej liczby respondentów</li> <li>- prosta organizacja pomiaru</li> <li>- eliminacja wpływu ankietera na przebieg badania</li> <li>- możliwość stosowania, na które niechętnie respondent wypowiada się ustnie</li> <li>- unikanie zbyt pośpiesznego wypełniania kwestionariusza</li> </ul>	<p><b>Ankieta pocztowa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- wysoki koszt</li> <li>- niski odsetek zwrotów (30% – dobry, 15–20% – typowy, bywa poniżej 10%)</li> <li>- długi czas pomiaru</li> <li>- niski stopień kontroli próby</li> <li>- konieczność przygotowania list adresowych</li> <li>- brak wpływu na kolejność udzielanych odpowiedzi i pomijanie pytań</li> </ul>
<p><b>Ankieta audytoryjna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- duża zwrotność</li> <li>- krótki czas pomiaru</li> <li>- niskie koszty</li> <li>- prosta organizacja pomiaru</li> <li>- wysoki stopień kontroli próby</li> <li>- możliwość prezentacji dodatkowych materiałów (np. wizualnych)</li> <li>- zestandaryzowane warunki prowadzenia pomiaru (np. sala lekcyjna, konferencyjna)</li> </ul>	<p><b>Ankieta audytoryjna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- konieczność dysponowania zespołem ankieterskim</li> <li>- konieczność stosowania krótkich kwestionariuszy</li> <li>- konieczność zebrania wielu respondentów w jednym miejscu</li> <li>- małe poczucie anonimowości u respondenta</li> </ul>
<p><b>Ankieta rozdawana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- duża zwrotność</li> <li>- krótki czas pomiaru</li> <li>- wysoki stopień kontroli próby</li> </ul>	<p><b>Ankieta rozdawana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- wysokie koszty</li> <li>- konieczność dysponowania zespołem ankieterskim</li> <li>- małe poczucie anonimowości u respondenta</li> </ul>
<p><b>Ankieta internetowa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- możliwość pomiaru dużej liczby respondentów</li> <li>- niskie koszty</li> <li>- szybkość pomiaru</li> <li>- duże poczucie anonimowości u respondenta</li> <li>- prosta organizacja pomiaru</li> </ul>	<p><b>Ankieta internetowa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- jawność kwestionariusza dla konkurencji</li> <li>- niski stopień kontroli próby</li> <li>- brak możliwości przeprowadzenia badań w niektórych grupach społeczeństwa (np. ludzie starsi)</li> </ul>

Tab. 1. Zalety i ograniczenia wybranych technik ankietowych. Źródło: opracowanie własne na podstawie Z. Kędzior i in. 2005. *Badania rynku. Metody, zastosowania*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s. 87.

W takiej sytuacji zazwyczaj przeprowadzana jest analiza statystyczna surowych danych empirycznych i na tej podstawie możliwe jest stwierdzenie, czy między zmiennymi zachodzi jakiś związek i czy jest on bardziej lub mniej ścisły. Analiza regresji i korelacji to jedna z najważniejszych i najszerzej stosowanych metod statystycznych. Stanowi ona narzędzie dokładnego określania stopnia powiązania zmiennych ze sobą. Przy czym należy zwrócić uwagę, że liczbowe stwierdzenie występowania zależności nie zawsze oznacza występowanie związku przyczynowo-skutkowego między badanymi zmiennymi (np. przywoływane wielokrotnie w literaturze przedmiotu badania pozornej korelacji między liczbą zajętych gniazd bocianich a liczbą urodzeń na danym obszarze). Współwystępowanie dwóch zjawisk może również wynikać z bezpośredniego oddziaływania na nie jeszcze innego, trzeciego zjawiska.

Jak z tego wynika, zwykle stosowana analiza statystyczna nie pozwala na pełne zbadanie zależności przyczynowo-skutkowych, które są niezbędne w wykrywaniu reguł zachowań. Dlatego też w ostatnich latach poszukiwane są inne metody, które uzupełniłyby tę lukę. Jedną z nich jest metoda zbiorów przybliżonych. Teoria zbiorów przybliżonych może być odpowiednim narzędziem do przetwarzania danych sondażowych w reguły decyzyjne w odniesieniu do różnych typów zachowań konsumentów (Vindigni i in. 2002; Cui 2009).

Kolejny etap procedury modelowania wieloagentowego stanowi przeprowadzenie symulacji komputerowej, czyli uruchomienie modelu symulacyjnego. Wyniki symulacji (tzw. przebieg bazowy) ukazującej zachowanie się badanego systemu w czasie są porównywane z dostępną wiedzą o systemie i następuje ewentualna weryfikacja modelu. Model jest weryfikowany tak długo, aż będzie w sposób zadawalający odzwierciedlał realne zachowanie się systemu. Następnym etapem omawianej procedury jest symulacja efektów potencjalnych zmian zachowania agentów (w tym kroku przeprowadzane są eksperymenty symulacyjne). Następnie porównuje się wyniki przebiegu bazowego z wynikami przebiegów eksperymentalnych oraz dokonuje się analizy i oceny wyników symulacji (najczęściej stosowane są w tym celu metody statystyczne). Ostatnim krokiem procedury jest sformułowanie wniosków wynikających z przeprowadzonego badania.

#### **4. Zbiory przybliżone w badaniach zachowań konsumentów**

Teoria zbiorów przybliżonych – zapoczątkowana przez Zdzisława Pawłaka w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku i rozwijana przez szereg lat przez jej twórcę i wielu innych badaczy – stanowi teoretyczną podstawę różnych metod i narzędzi informatycznych, które umożliwiają m.in. indukcję reguł decyzyjnych czy też redukcję zbiorów danych. Teoria ta zyskała dużą popularność i jest obecnie skutecznie wykorzystywana, m.in. w eksploracji danych i odkrywaniu wiedzy, złożonych zadaniach klasyfikacji oraz w komputerowych systemach



wspomagania decyzji. Dziedziny, w których teoria ta została dotychczas zastosowana, to m.in. medycyna, farmakologia, biznes (bankowość, badania rynku), rozpoznawanie mowy, obrazów, lingwistyka, sztuczna inteligencja.

Na popularność tej metody złożyło się wiele czynników. Przede wszystkim teoria zbiorów przybliżonych, wraz z algorytmami ją wykorzystującymi, pozwala analizować duże zbiory danych, umożliwiając przy tym na redukcję zbioru cech opisujących obiekty do niezbędnego minimum (tzw. redukt zbioru atrybutów warunkowych), usuwając niespójność w danych, jeśli taka ma miejsce, oraz generując z danych tzw. reguły minimalne, a więc symulując postępowanie eksperta z danej dziedziny, który zazwyczaj swą wiedzę potrafiłby najszybciej przedstawiać jako takie właśnie reguły (zapisy: „Jeżeli... i ..., to...”).

Za zalety teorii zbiorów przybliżonych należy uznać to, że (Pawlak 2004):

- nie wymaga ona założeń odnośnie danych (np. prawdopodobieństwa czy rozmytości),
- zawiera szybkie algorytmy analizy danych,
- ułatwia interpretację wyników,
- charakteryzuje się znaczną prostotą matematyczną.

Ze względu na powyższe cechy teoria ta może być również z powodzeniem wykorzystywana do badań marketingowych. W ostatnich kilkunastu latach opublikowano sporo opracowań naukowych przedstawiających przypadki wykorzystania teorii zbiorów przybliżonych do analizy zachowań konsumentów, np. Cui (2009), Huang (2010), Liou i Tzeng (2010), Ogino i in. (2010), Shibata (2010), Furaji i Wąsikowska (2012). Badania preferencji stanowią obecnie główny obszar zainteresowań badaczy z zakresu ekonomii i zarządzania. Są one podstawową kategorią badawczą w modelowaniu zachowań konsumentów na rynku, uwzględniającą racjonalność podejmowania decyzji.

W celu przeanalizowania danych metodą zbiorów przybliżonych dane zebrane przez badacza, np. podczas badania ankietowego, należy zapisać w postaci tzw. pierwotnej tablicy informacyjnej. Tablicą informacyjną nazywamy uporządkowaną piątkę  $T = (U, Q, D, V, f)$ , gdzie  $D$  jest to zbiór cech (atrybutów) decyzyjnych,  $U$  jest zbiorem obiektów (przykładów) i jest zwany uniwersum,  $Q$  jest zbiorem cech (atrybutów warunkowych),  $V = \cup_{q \in Q} \{v \mid v \text{ jest wartością cechy } q\}$  jest zbiorem wszystkich możliwych wartości cech, natomiast  $f: U \times Q \rightarrow V$  jest funkcją informacyjną (Rutkowski 2005). Tablicowy sposób reprezentacji danych ma dwie zasadnicze cechy: uniwersalność, co oznacza, że pozwala na gromadzenie i przechowywanie różnorodnych danych, oraz efektywność, co oznacza, że umożliwia w łatwy sposób komputerową analizę tak zapisanych danych.

Zebrane w tablicy pierwotnej dane poddawane są następnie analizie według następujących kroków:

- dyskretyzacja (kodowanie) danych,
- badanie istotności poszczególnych atrybutów warunkowych,

- redukcja przestrzeni atrybutów warunkowych (wykrycie atrybutów redundantnych),
- budowa bazy reguł,
- odrzucenie reguł sprzecznych,
- uproszczenie pozostałych reguł (czyli łączenie reguł podobnych),
- ocena jakości i dokładności otrzymanych reguł,
- zapis reguł w formie lingwistycznej (odkodowanej).

Zapis otrzymanych reguł w formie odkodowanej sprawia, że stają się one zrozumiałe dla decydenta mającego podjąć na ich podstawie decyzje dotyczące np. strategii marketingowej firmy. Metoda zbiorów przybliżonych może być więc z powodzeniem stosowana w praktyce jako skuteczne narzędzie analiz tego typu danych. Stworzona baza reguł preferencji i zachowań konsumentów może stanowić bazę reguł poszczególnych agentów w symulacji wieloagentowej.

## **5. Przykład wieloagentowego modelu symulacyjnego zbudowanego z wykorzystaniem teorii zbiorów przybliżonych**

Na potrzeby artykułu zbudowano model zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych i przeprowadzono na nim eksperymenty symulacyjne, realizując procedurę składającą się z następujących kroków:

1. Analiza danych historycznych dotyczących zachowania konsumentów dokonujących zakupów urządzeń elektrycznych (metoda ankietowa i analiza statystyczna).
2. Budowa bazy reguł zachowań konsumentów (teoria zbiorów przybliżonych).
3. Opracowanie modelu wieloagentowego i przeprowadzenie symulacji na podstawie zgromadzonych danych i reguł zachowań.

Dane empiryczne, niezbędne do przeprowadzenia badań, zostały zebrane metodą ankietową. Badanie ankietowe przeprowadzone w grudniu 2011 r. w Basrze (jest to duże miasto położone w południowym Iraku) pozwoliło zgromadzić 174 poprawnie wypełnionych kwestionariuszy ankietowych. Na potrzeby badania z kwestionariusza wybrano 4 pytania dotyczące każdego z respondentów. Trzy z nich odnoszą się do charakterystyki osób biorących udział w badaniu i pozwalają na zdefiniowanie atrybutów warunkowych (płeć, wiek, wykształcenie), natomiast czwarte pytanie dotyczy kwestii, czy bezpieczeństwo urządzenia elektrycznego jest czynnikiem istotnym dla respondenta podczas dokonywania zakupu (skala Likerta: 1 – ważne lub bardzo ważne, 2 – obojętne, 3 – nieważne) i stanowi atrybut decyzyjny. Uzyskane dane zostały ułożone w postaci tzw. pierwotnej tablicy informacyjnej (tabela 2).

W kolejnym kroku, zgodnie z teorią zbiorów przybliżonych, dane zebrane w pierwotnej tablicy informacyjnej poddano dyskretyzacji oraz kodowaniu,

Lp.	Płeć	Wiek	Wykształcenie	Czy zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa kupowanego przez mnie sprzętu AGD jest dla mnie ważne?
p1	kobieta	18–24	brak wykształcenia	nieważne
p2	mężczyzna	powyżej 54	brak wykształcenia	obojętne
p3	mężczyzna	powyżej 54	średnie	bardzo ważne
p4	mężczyzna	35–44	wyższe	bardzo ważne
p5	kobieta	45–54	średnie	bardzo ważne
p6	kobieta	18–24	wyższe	bardzo ważne
p7	kobieta	18–24	wyższe	bardzo ważne
p8	kobieta	18–24	średnie	bardzo ważne
p9	kobieta	25–34	wyższe	bardzo ważne
p10	kobieta	25–34	wyższe	bardzo ważne
p11	mężczyzna	25–34	wyższe	ważne
p12	mężczyzna	powyżej 54	średnie	bardzo ważne
p13	kobieta	25–34	wyższe	bardzo ważne
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
p174	kobieta	35–44	średnie	bardzo ważne

Tab. 2. Fragment pierwotnej tablicy informacyjnej. Źródło: opracowanie własne.

w wyniku czego otrzymano wtórną tablicę informacyjną. Tak przygotowane wstępnie dane poddano analizie metodą zbiorów przybliżonych, używając do tego programu DAT (Data Analysis Toolbox) działającego w środowisku MATLAB R2010a. W wyniku przeprowadzonych analiz otrzymano tablicę decyzyjną zawierającą 42 reguły. W następnym kroku odrzucono reguły sprzeczne i dokonano uproszczenia reguł podobnych. Ostatecznie w wyniku przeprowadzonych analiz otrzymano 6 reguł, które zostały użyte w kolejnych krokach modelowania (tabela 3).

W trzecim kroku przyjętej procedury badawczej zbudowano model wieloagentowy w pakiecie symulacyjnym Anylogic 6 i przeprowadzono eksperymenty, opierając się na zgromadzonych danych i regułach zachowań. Symulacja bazowała na danych pochodzących z ankiet oraz regułach uzyskanych w poprzednim kroku. W modelu każdy konsument był agentem

<b>Atrybuty warunkowe:</b>
<i>Płeć:</i> M – mężczyzna, K – kobieta
<i>Wiek:</i> v1 = [18–24], v2 = [25–34], v3 = [35–44], v4 = [45–54], v5 = [55 i więcej]
<i>Wykształcenie:</i> v1 = bez wykształcenia, v2 = podstawowe, v3 = gimnazjalne, v4 = średnie, v5 = wyższe
<b>Atrybut decyzyjny:</b>
A1 = nieważne, A2 = obojętne, A3 = ważne lub bardzo ważne
<b>Reguły dla decyzji A1:</b>
1. Jeżeli płeć = K i wiek = v1 i wykształcenie = v1 to d = A1 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla kobiety w wieku poniżej 25 lat i bez wykształcenia zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego nie jest ważne. 2. Jeżeli płeć = M i wiek = v1 i wykształcenie = v1 to d = A1 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla mężczyzny w wieku poniżej 25 lat i bez wykształcenia zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego nie jest ważne.
<b>Reguły dla decyzji A2:</b>
3. Jeżeli płeć = K i wiek = v4 i wykształcenie = v1 to d = A2 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla kobiety w wieku pomiędzy 45 a 54 lat i bez wykształcenia zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego jest obojętne. 4. Jeżeli płeć = M i wiek = v5 i wykształcenie = v1 to d = A2 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla mężczyzny w wieku powyżej 55 lat, nieposiadającego wykształcenia zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego jest obojętne.
<b>Reguły dla decyzji A3:</b>
5. Jeżeli płeć = K i wykształcenie $\neq$ v1 to d = A3 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla kobiety posiadającej wykształcenie co najmniej podstawowe zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego jest ważne lub bardzo ważne. 6. Jeżeli płeć = M i wiek $\neq$ v1 i wykształcenie $\neq$ v1 to d = A3 <i>Opis słowny reguły:</i> Dla mężczyzny w wieku powyżej 24 lat, posiadającego wykształcenie co najmniej podstawowe zapewnienie wysokich standardów bezpieczeństwa sprzętu elektrycznego jest ważne lub bardzo ważne.

Tab. 3. Atrybuty oraz wybrane reguły algorytmu decyzyjnego. Źródło: opracowanie własne.

(w symulacji przyjęto wielkość populacji na poziomie 1000 agentów). Założono, że każdy agent dokona zakupu sprzętu AGD, który ma zapewniony wysoki standard bezpieczeństwa. W związku z tym każdy z agentów ma określone następujące wartości atrybutów:

1. Płeć – kobieta, mężczyzna.
2. Wiek – 18–80 lat.

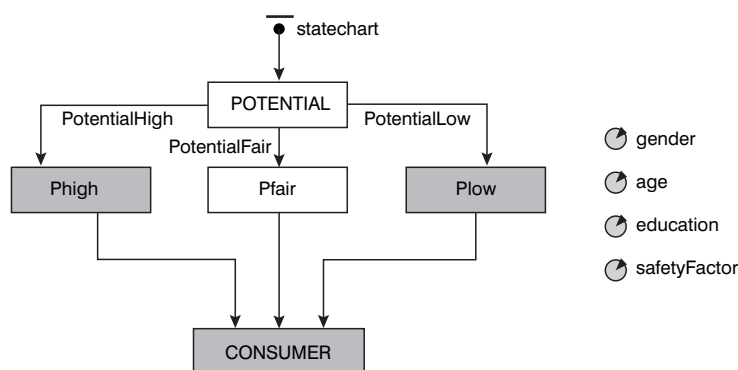
3. Wykształcenie – brak wykształcenia, podstawowe, gimnazjalne, średnie, wyższe.

4. Czynniki bezpieczeństwa – zapewniony wysoki standard bezpieczeństwa.

Na etapie inicjalizacji agentów założono, że agenci nie korzystają z danego produktu (są potencjalnymi konsumentami). Dzięki zastosowaniu reguł uzyskanych w poprzednim kroku agentów podzielono na trzy grupy:

1. Potencjalni konsumenci zainteresowani zakupem (*Phigh*), którzy stanowili 86% wszystkich badanych konsumentów.
2. Potencjalni konsumenci o nieokreślonym stopniu zainteresowania zakupem (*Pfair*), którzy stanowili 20% wszystkich badanych konsumentów.
3. Potencjalni konsumenci słabo zainteresowani zakupem (*Plow*), którzy stanowili 12% wszystkich badanych konsumentów.

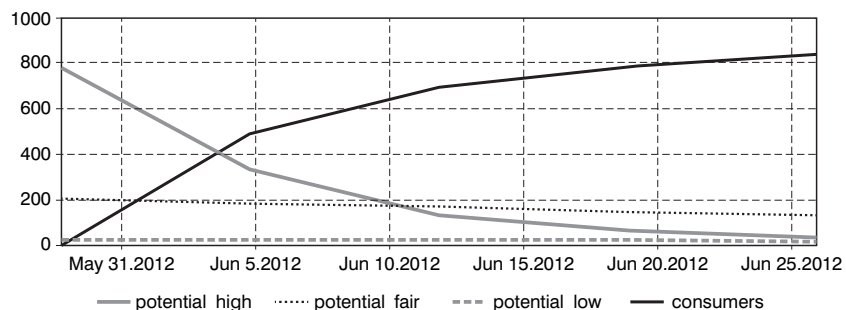
Na rysunku 2. przedstawiono diagram stanów ilustrujący ten podział agentów. Opierając się na regułach, przyjęto, że każdy potencjalny konsument na początku symulacji przyjmuje jeden z wymienionych stanów.



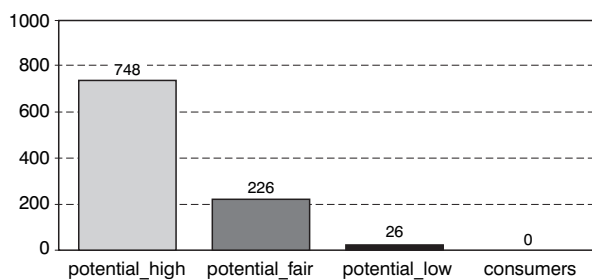
Rys. 2. Diagram stanów konsumentów. Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo w przeprowadzonym eksperymencie założono, że czas potrzebny konsumentowi na dokonanie zakupu od momentu podjęcia decyzji do dokonania transakcji wynosi tydzień.

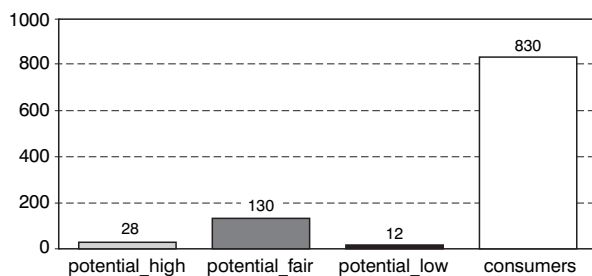
Rysunek 3 przedstawia cztery krzywe, które reprezentują wyniki symulacji dla 4 tygodni. Kropkowana krzywa reprezentuje potencjalnych konsumentów, którzy są bardzo zainteresowani zakupem sprzętu elektrycznego spełniającego wysokie standardy bezpieczeństwa (*Phigh*); krzywa oznaczona trójkątami reprezentuje liczbę potencjalnych konsumentów o nieokreślonym stopniu zainteresowania zakupem takiego sprzętu (*Pfair*); krzywa oznaczona kwadratami to potencjalni konsumenci słabo zainteresowani zakupem sprzętu elektrycznego o wysokich standardach bezpieczeństwa; krzywa



Rys. 3. Symulacja zachowania konsumentów. Źródło: opracowanie własne.



4a) Początek pierwszego tygodnia



4b) Koniec czwartego tygodnia

Rys. 4. Liczba konsumentów w czasie symulacji modelu (czas symulacji 4 tygodnie). Źródło: opracowanie własne.

pogrubiona reprezentuje liczbę konsumentów, którzy dokonali zakupów (*Consumers*). Analiza tych krzywych pozwala na wyciągnięcie wniosku, że największy odsetek konsumentów dokonujących zakupów stanowią potencjalni konsumenci zainteresowanych zakupem (*Phigh*). Wynika to z tego, że reguły

wykryte za pomocą zbiorów przybliżonych wskazywały, że takiego rodzaju decyzje podejmowała największa liczba respondentów (tzn. wszystkie kobiety posiadające wykształcenie co najmniej podstawowe oraz wszyscy mężczyźni w wieku powyżej 24 lat posiadający wykształcenie co najmniej podstawowe).

Rysunek 4. przedstawia wyniki przebiegu symulacyjnego dla 4 tygodni. Również z tego wykresu można odczytać, że spośród trzech kategorii konsumentów konsumenci należący do kategorii zainteresowanych zakupem przekształcają się w największym stopniu w konsumentów zdecydowanych na zakup. Jest to wynikiem wysokiej wartości wskaźnika podejmowania decyzji zakupowych na tydzień (0,86).

## 6. Wnioski

Przedstawione w artykule rozważania pozwalają na sformułowanie wniosku, że symulacja wieloagentowa jest metodą, która może być i jest stosowana z powodzeniem do badania zachowania konsumentów. Przemawiają za tym m.in. następujące przesłanki (Rand i Rust 2011; Twomey i Cadman 2002): (1) pozwala na prowadzenie eksperymentów z uwzględnieniem niejednorodnej złożoności zarówno na poziomie indywidualnego konsumenta, jak i złożonego środowiska marketingowego; (2) daje możliwość modelowania interakcji między konsumentami-agentami, co zwiększa wiarygodność wyników badań, bo modelowany rzeczywisty świat składa się z jednostek wchodzących ze sobą w interakcje.

Podstawową trudność w jej implementacji stanowi problem identyfikacji reguł zachowania konsumentów na potrzeby tworzenia modelu symulacyjnego. Problem ten, jak wykazano w artykule, można jednak rozwiązać poprzez przeprowadzenie odpowiednio zorganizowanych badań ankietowych, na podstawie których, posługując się teorią zbiorów przybliżonych, istnieje możliwość wykrycia reguł zachowania się badanych grup konsumentów.

Na modelu symulacyjnym zbudowanym zgodnie z proponowaną procedurą można, za pomocą komputera, przeprowadzać praktycznie nieograniczoną liczbę eksperymentów w krótkim czasie (bez szkody dla ludzi i środowiska), co umożliwi badanie wpływu wielu kombinacji reguł będących bazą decyzji zakupowych konsumentów.

### Informacje o autorkach

**Dr hab. prof. US Małgorzata Łatuszyńska** – Uniwersytet Szczeciński.

E-mail: mlat@wneiz.pl.

**Dr Agata Wawrzyniak** – Uniwersytet Szczeciński. E-mail: agataw@wneiz.pl.

**Dr Barbara Wąsikowska** – Uniwersytet Szczeciński.

E-mail: barbara.wasikowska@wneiz.pl.

**Mgr Fatimah Furaji** – University of Basrah, Irak.

E-mail: fatma9\_74@yahoo.com.

### Przypisy

- <sup>1</sup> Szerzej na ten temat w: Witek i Nermend 2008; Zeelenberg i Pieters 2004; Shah, Roy i Tiwari 2006; Chaochang 2002.
- <sup>2</sup> *Journal of Product Innovation Management* 2011, Special Issue on Agent-based Modeling of Innovation Diffusion, nr 2 s. 152–168.

### Bibliografia

- Adjali, I., Dias, B. i R. Hurling 2005. *Agent Based Modeling of Consumer Behavior*, Proceedings of the 2005 North American Association for Computational Social and Organizational Science Annual Conference, Notre Dame: University of Notre Dame, [http://www.casos.cs.cmu.edu/events/conferences/2005/conference\\_papers.php](http://www.casos.cs.cmu.edu/events/conferences/2005/conference_papers.php), dostęp: 14.03.2012.
- Ben Said, L., Bouron, T. i A. Drogoul 2002. *Agent-based Interaction Analysis of Consumer Behavior*, Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: part 1, New York: ACM, s. 184–190.
- Bieniasz, S. 2006. *Techniki symulacji agentowej w zastosowaniu do badania procesów cieplnych*, Kraków: Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH, s. 13–14, <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9711/full9711.pdf>, dostęp: 10.03.2012.
- Bonabeau, E. 2002. Agent-based Modeling, Methods and Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, nr 3 (99), s. 7280–7287, <http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7280.full2002>, DOI: 10.1073/pnas.082080899.
- Brannon, E.L., Ulrich, P.V., Anderson, L.J. i A.B. Presley 2001. *Agent-based Simulation of the Consumer's Apparel Purchase Decision*. *National Textile Center Annual Report*, <http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp01/I98-A09-A1.pdf>, dostęp: 14.03.2012.
- Buchta, C. i J. Mazanec 2001. SIMSEG/ACM – A Simulation Environment for Artificial Consumer Markets. *Working Paper*, nr 79, Vienna: Vienna University of Economics and Business Administration, <http://epub.wu.ac.at/254/1/document.pdf>, dostęp: 14.03.2012.
- Burns, R. 2000. *Introduction to Research Methods*, London: Sage, DOI: 10.1332/030557393782453916.
- Cao, J. 1999. *Evaluation of Advertising Effectiveness Using Agent-based Modelling and Simulation*, Proceedings of 2nd UK Workshop of SIG on Multi-Agent Systems (UKMAS), Bristol, [http://stuff.mit.edu/~caoj/pub/doc/jcao\\_c\\_adver.pdf](http://stuff.mit.edu/~caoj/pub/doc/jcao_c_adver.pdf), dostęp: 14.03.2012.
- Casti, J. 1997. *Would-be Worlds, How Simulation Is Changing The World of Science*, New York: Wiley.
- Challet, D. i A. Krause 2006. *What Questions to Ask in Order to Validate an Agent-based Model*. *Report of the 56th European Study Group with Industry*, s. J1–J9, <http://www.maths-in-industry.org/miis/107/1/Unilever-ABM-Report.pdf>, dostęp: 14.03.2012.
- Chaochang, C. 2002. A Case-based Customer Classification Approach for Direct Marketing. *Expert Systems with Applications*, nr 2 (22), s. 163–168.
- Collings, D., Reeder, A.A., Adjali, I., Crocker, P. i M.H. Lyons 1999. Agent Based Customer Modeling. *Computing in Economics and Finance*, nr 1352, <http://econpapers.repec.org/paper/scscescecf9/1352.htm>, dostęp: 14.03.2012.
- Collings, D., Reeder, A.A., Adjali, I., Crocker, P. i M.H. Lyons 2000. *Agent Based Customer Modeling: Individuals Who Learn from Their Environment*, Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, La Jolla, s. 1492–1497, DOI: 10.1109/CEC.2000.870830.



- Cui, N. 2009. *A Rough-set Based Approach to Predict Consumers' Brand Preference*. International Workshop on Intelligent Systems and Applications, Wuhan, DOI: 10.1109/IWISA.2009.5072671.
- Delre, S.A., Jager, W., Bijmolt, T.H.A. i M.A. Janssen 2010. Will It Spread or Not? The Effects of Social Influences and Network Topology on Innovation Diffusion. *Journal of Product Innovation Management*, nr 2 (27), s. 267–282, DOI: 10.1111/j.1540-5885.2010.00714.x.
- Frank, A.U., Bittner, S. i M. Raubal 2001. Spatial and Cognitive Simulation with Multi-agent Systems, w: D.R. Montello (red.) *Spatial Information Theory – Foundations of Geographic Information Science*, s. 124–139. Berlin–Heidelberg: Springer Verlag, DOI: 10.1007/3-540-45424-1\_9.
- Furaji, F. i B. Wąsikowska 2012. Badanie preferencji zakupowych kobiet i mężczyzn metodą zbiorów przybliżonych. *Handel Wewnętrzny*, w druku.
- Goldenberg, J., Han, S., Lehmann, D.R. i J.W. Hong 2009. The Role of Hubs in the Adoption Process. *Journal of Marketing*, nr 2 (73), s. 1–13, DOI: 10.1509/jmkg.73.2.1.
- Goldenberg, J., Libai, B., Moldovan, S. i E. Muller 2007. The NPV of Bad News. *International Journal of Research in Marketing*, nr 24, s. 186–200, DOI: 10.1016/j.ijresmar.2007.02.003.
- Goldenberg, J., Libai, B. i E. Muller 2010. The Chilling Effect of Network Externalities. *International Journal of Research in Marketing*, nr 1 (27), s. 4–15, DOI: 10.1016/j.ijresmar.2009.06.006.
- Hill, R. i A. Watkins 2007. A Simulation of Moral Behavior within Marketing Exchange Relationships. *Journal of the Academy of Marketing Science*, nr 35, s. 417–429, DOI: 10.1007/s11747-007-0025-5.
- Hill, R. i A. Watkins 2009a. A Simulation of Business-to-Business Decision Making in a Relationship Marketing Context. *Industrial Marketing Management*, nr 8 (28), s. 994–1005.
- Hill, R. i A. Watkins 2009b. The Profit Implications of Altruistic Versus Egoistic Orientations for Business-to-Business Exchanges. *International Journal of Research in Marketing*, nr 1 (26), s. 52–59, DOI: 10.1016/j.ijresmar.2008.07.007.
- Huang, C. 2010. *4G Mobile Phone Consumer Preference Predictions by Using the Rough Set Theory and Flow Graphs*, Phuket: Technology Management for Global Economic Growth (PICMET).
- Jager, W. 2006. Simulating Consumer Behaviour: A Perspective, w: A. Faber, K. Frenken i A.M. Idenburg (red.) *Groningen Environmental Policy and Modeling in Evolutionary Economics*, s. 111–136. Netherlands: Environmental Assessment Agency, <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/550033001.pdf>, dostęp: 15.03.2012.
- Jager, W., Janssen, M.A. i C.A.J. Vlek 1999. *Consumers in a Commons Dilemma: Testing the Behavioural Rules of Simulated Consumers*, COV Report No. 99-01, University of Groningen: Centre for Environment and Traffic Psychology, <http://clivespash.org/speer/simpaper.pdf>, dostęp: 15.03.2012.
- Janssen, M.A. i W. Jager 2003. Simulating Market Dynamics: The Interactions of Consumer Psychology and Structure of Social Networks. *Artificial Life*, nr 9, s. 343–356.
- Journal of Product Innovation Management* 2011, Special Issue on Agent-based Modeling of Innovation Diffusion, nr 2 (28).
- Kaczmarczyk, S. 2003. *Badania marketingowe. Metody i techniki*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Kędzior, Z. i in. 2005. *Badania rynku. Metody, zastosowania*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Kuhn, J.R., Courtney, J.F., Morris, B. i E.R. Tataro 2010. Agent-based Analysis and Simulation of the Consumer Airline Market Share for Frontier Airlines. *Knowledge-Based Systems*, nr 8 (23), s. 875–882, DOI: 10.1016/j.knsys.2010.06.002.

- Kyrylov, V. i C. Bonanni 2004. *Modeling Decision Making by Telecommunications Ser-vices Providers in a Strategy Market Game*, Proceedings of the Applied Telecommunication Symposium (ATS'04), Arlington, [http://www.dss.dpem.tuc.gr/pdf/A132-Vadim\\_modeling\\_telecommunication\\_final.pdf](http://www.dss.dpem.tuc.gr/pdf/A132-Vadim_modeling_telecommunication_final.pdf), dostęp: 14.03.2012.
- Lancaster, G. 2005. *Research Methods in Management. A Concise Introduction to Research in Management and Business Consultancy*, Jordan Hill, Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House.
- Liou, J. i G. Tzeng 2010. A Dominance-based Rough Set Approach to Customer Behavior in the Airline Market. *Information Sciences*, nr 11 (180), s. 2230–2238, DOI: 10.1016/j.ins.2010.01.025.
- Lusch, R.F. i N. Tay 2002. Agent-based Modeling of Ambidextrous Organizations: Virtualizing Competitive Strategy. *IEEE Transactions on Intelligent Systems*, nr 5 (22), s. 50–57.
- Lusch, R.F. i N. Tay 2004. Agent-based Modeling: Gaining Insight into Firm and Industry Performance, w: Ch. Moorman i D.R. Lehman (red.) *Assessing marketing strategy performance*, s. 213–227. Cambridge: Marketing Science Institute.
- Lusch, R.F. i N. Tay 2005. A Preliminary Test of Hunt's General Theory of Competition: Using Artificial Adaptive Agents to Study Complex and Ill-defined Environments. *Journal of Business Research*, nr 9 (58), s. 1155–1168, DOI: 10.1016/j.jbusres.2004.04.005.
- Macal, Ch.M. i M.J. North 2006. *Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation, Part 2. How to Model with Agent*, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, s. 73–83, <http://www.informs-sim.org/wsc06papers/008.pdf>, dostęp: 25.05.2012, DOI: 10.1109/WSC.2006.323040.
- Marks, R.E., Midgley, D.F. i L.G. Cooper 1997. Breeding Competitive Strategies. *Management Science*, nr 3 (43), s. 257–275, DOI: 10.1287/mnsc.43.3.257.
- Marks, R.E., Midgley, D.F. i L.G. Cooper 2006. Co-evolving Better Strategies in Oligopolistic Price Wars, w: J.P. Rennard (red.) *Handbook of Research on Nature-Inspired Computing for Economy and Management*, s. 806–821. Hershey: Idea Group, DOI: 10.4018/978-1-59140-984-7.ch052.
- North, M.J. i in. 2010. *Multiscale Agent-based Consumer Market Modeling*, [http://www.dis.anl.gov/pubs/Multiscale\\_Agent-Based\\_Consumer\\_Market\\_Modeling.pdf](http://www.dis.anl.gov/pubs/Multiscale_Agent-Based_Consumer_Market_Modeling.pdf), dostęp: 23.04.2012, DOI: 10.1002/cplx.20304.
- Ogino, A., Imamura, N. i T. Kato 2010. *Modeling of Human Interest in Products by Observing Behaviors of Customer in a Store*, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, Paris.
- Pawlak, Z. 2004. Zbiory przybliżone – nowa matematyczna metoda analizy danych. *Miesięcznik Politechniki Warszawskiej*, nr 5.
- Pfaff, D. 2010. *Badania rynku. Jak pozyskiwać najistotniejsze dla firmy informacje marketingowe*, Warszawa: Wyd. BC.edu.
- Rahmandad, H. i J. Sterman 2008. Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-based and Differential Equation Models, *Management Science*, nr 5 (54), s. 998–1014, DOI: 10.1287/mnsc.1070.0787.
- Rand, W. i R.T. Rust 2011. Agent-based Modelling in Marketing: Guidelines for Rigor. *International Journal of Research in Marketing*, nr 3 (28), s. 181–193, DOI: 10.1016/j.ijresmar.2011.04.002.
- Rigopoulos, G., Patlitzianas, K.D. i N.V. Karadimas 2006. *Modeling Consumer Behaviour Towards Payment System Selection Using Multiagent Based Simulation*, IADIS Virtual Multi Conference on Computer Science and Information Systems, [http://www.iadis.net/dl/final\\_uploads/200603C039.pdf](http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200603C039.pdf), dostęp: 14.03.2012.
- Robertson, D.A. 2003. Agent-based Models of a Banking Network as an Example of a Turbulent Environment: the Deliberate vs. Emergent Strategy Debate Revisited. *Journal of Complexity in Organizations and Management*, nr 2 (5), s. 56–71, DOI: 10.1207/S15327000EM050207.

- Roosmandi, O., Ghasem-Aghaee, N., Hofstede, G.J., Nematbakhsh, M.A., Baraania, A. i T. Verwaart 2011. Agent-based Modeling of Consumer Decision Making Process Based on Power Distance and Personality. *Knowledge-Based Systems*, nr 7 (24), s. 1075–1095, DOI: 10.1016/j.knsys.2011.05.001.
- Rutkowski, L. 2005. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Schenk, T.A., Löffler, G. i J. Rauh 2007. Agent-based Simulation of Consumer Behavior in Grocery Shopping on a Regional Level. *Journal of Business Research*, nr 60, s. 894–903, DOI: 10.1016/j.jbusres.2007.02.005.
- Schwaiger, A. i B. Stahmer 2003. SimMarket: Multiagent-based Customer Simulation and Decision Support for Category Management. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, nr 2831, s. 74–84, DOI: 10.1007/978-3-540-39869-1\_7.
- Shah, S., Roy, R. i A. Tiwari 2006. *Technology Selection for Human Behaviour Modelling in Contact Centres*, Cranfield: Cranfield University, s. 2–13.
- Shaikh, N.I., Ragaswamy, A. i A. Balakrishnan 2005. *Modelling the Diffusion of Innovations Using Small World Networks*, Philadelphia: Penn State University.
- Shibata, J. 2010. *Analysis of Unplanned Purchase Rule Based on Rough Set*, Los Angeles: Computers and Industrial Engineering (CIE), DOI:10.1109/ICCIE.2010.5668266.
- Siebers, P.O. i U. Aickelin 2008. Introduction to Multi-agent Simulation, w: F. Adam i P. Humphreys (red.) *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*, s. 554–564. Pennsylvania: Idea Group Publishing, DOI: 10.4018/978-1-59904-843-7.ch062.
- Toubia, O., Goldenberg, J. i R. Garcia 2008. A New Approach to Modeling the Adoption of New Products: Aggregated Diffusion Models. *MSI Reports: Working Papers Series*, nr 08-001, s. 65–76.
- Twomey, P. i R. Cadman 2002. Agent-based Modelling of Customer Behaviour in the Telecoms and Media Markets. *Information*, nr 1 (4), s. 56–63, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ACERetailCustomerModeling.pdf>, dostęp: 14.03.2012, DOI: 10.1108/14636690210426640.
- Ulbinaitė, A. i Y. Le Moullec 2010. Towards an ABM-based Framework for Investigating Consumer Behaviour in the Insurance Industry. *Ekonomika*, nr 2 (89), s. 97–101.
- Venables, M. i U. Bilge 1998. *Complex Adaptive Modelling at J Sainsbury: The SimStore Supermarket Supply Chain Experiment*, Warwick: Business Process Resource Centre, Warwick University, <http://www.psych.lse.ac.uk/complexity/Seminars/1998/report-98mar.htm>, dostęp: 14.03.2012.
- Vindigni, G., Janssen, M.A. i W. Jager 2002. Organic Food Consumption. A Multi-theoretical Framework of Consumer Decision Making. *British Food Journal*, nr 8 (104), s. 624–642, DOI: 10.1108/00070700210425949.
- Watts, D.J. 2002. A Simple Model of Global Cascades on Random Networks. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, nr 99, s. 5766–5771, DOI: 10.1073/pnas.082090499.
- Watts, D.J. i P.S. Dodds 2007. Influentials, Networks and Public Opinion Formation. *Journal of Consumer Research*, nr 4 (34), s. 441–458, DOI: 10.1086/518527.
- Wilkinson, I. i L. Young 2002. On Cooperating: Firms, Relations, Networks. *Journal of Business Research*, nr 55, s. 123–132, DOI: 10.1016/S0148-2963(00)00147-8.
- Witek, J. i K. Nermend (red.) 2008. *Zachowania konsumenta w świetle badań ankietowych i symulacyjnych*, Szczecin: Uniwersytet Szczeciński, s. 5–7.
- Wohlfarth, J. i S. Albayrak 2003. *An Agent-based Decision Support System for the Introduction of Next Generation Mobile Services*, Berlin: DAI-Labor, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.202.9099>, dostęp: 14.03.2012.
- Wooldridge, M. 1999. Intelligent Agents, w: G. Weiss (red.) *Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, s. 27–77. Cambridge: MIT Press.
- Wooldridge, M. 2002. *An Introduction to Multi-agent Systems*, New York: Wiley.

- Zeelenberg, M. i R. Pieters 2004. Beyond Valence in Customer Dissatisfaction: A Review and New Findings on Behavioural Responses to Regret and Disappointment in Failed Services. *Journal of Business Research*, nr 4 (57), s. 445–455, DOI: 10.1016/S0148-2963(02)00278-3.
- Zhang, T. i D. Zhang 2007. Agent-based Simulation of Consumer Purchase Decision-making and the Decoy Effect. *Journal of Business Research*, nr 60, s. 912–922, DOI: 10.1016/j.jbusres.2007.02.006.