

**Uniwersytet Szczeciński**

**Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania**



**Fatimah Mohammed Furaiji**

**Application of Multi-Agent Based Simulation in  
Consumer Behaviour Modeling**

**Zastosowanie symulacji wieloagentowej w modelowaniu  
zachowania konsumentów**

Rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem

dr hab. prof. US Małgorzaty Łatuszyńskiej

Promotor pomocniczy: dr Agata Wawrzyniak

SZCZECIN 2018

## **Spis treści**

1. Problem badawczy
2. Cel pracy i hipotezy
3. Procedura badawcza
4. Struktura pracy
5. Wyniki przeprowadzonych badań
6. Wnioski
7. Lista własnych publikacji

## 1. Problem badawczy

Działania marketingowe ogniskują się obecnie na znalezieniu sposobów dostarczania klientom produktów i usług spełniających odpowiednie wymagania oraz metodach utrzymania ich zainteresowania w celu poprawiania konkurencyjności firmy, osiągnięcia pożądanego udziału w rynku, a także generowania zysku. Jako, że zachowanie konsumentów należy do klasy systemów złożonych systemem, dużym problemem jest wykrycie reguł rządzących podejmowaniem przez nich decyzji. W tym kontekście, współcześni badacze starają się znaleźć odpowiedzi na następujące pytania:

- W jaki sposób konsumenci podejmują decyzje dotyczące zakupów?
- W jaki sposób można sprawdzać ich zachowanie w różnych warunkach i w ramach różnych scenariuszy?
- W jaki sposób wyeliminować skutki błędnych decyzji dotyczących działań marketingowych?
- Jak można analizować różne warianty działań marketingowych nie ponosząc nadmiernych kosztów?

Aby znaleźć odpowiedzi na postawione wyżej pytania badacze stosują wiele metod modelowania zachowań klientów, są to m.in. techniki oparte na logice rozmytej, sieci neuronowe, drzewa decyzyjne, algorytmy genetyczne.

## 2. Cel i hipotezy

Niniejsza praca koncentruje się na zastosowaniu w modelowaniu zachowania konsumentów symulacji wieloagentowej. Jej celem jest opracowanie podstaw metodologicznych analizy zachowania konsumentów z zastosowaniem symulacji wieloagentowej i teorii zbiorów przybliżonych oraz przeprowadzenie badań symulacyjnych z wykorzystaniem opracowanej metodologii.

W pracy postawiono następujące hipotezy:

**H1:** Symulacja wieloagentowa może być z powodzeniem stosowana jako metoda wspierania decyzji marketingowych.

**H2:** Wieloagentowy model symulacyjny pozwala na:

- prognozowanie zachowania wielu konsumentów,
- ocenę jednoczesnego wpływu różnych czynników na zachowania konsumentów,
- testowanie alternatywnych strategii marketingowych dla dowolnego okresu (miesiąca, roku lub wielu lat).

### 3. Procedura badawcza

W celu zweryfikowania hipotez przeprowadzono procedurę badawczą składającą się z następujących etapów:

1. Przegląd metod modelowania zachowania konsumentów.
2. Identyfikacja głównych czynników użytych do budowy modelu.
3. Zdefiniowanie reguł zachowania się konsumentów.
4. Budowa modelu symulacyjnego zachowania konsumentów.
5. Weryfikacja i walidacja modelu na podstawie wybranych studiów przypadków.
6. Sformułowanie wniosków oraz określenie możliwych zastosowań modelu w praktyce.

Każdy etap procedury badawczej został zrealizowany z wykorzystaniem innych metod oraz narzędzi. Przegląd metod modelowania zachowania konsumentów przeprowadzono w oparciu o dostępną literaturę. Do identyfikacji głównych czynników użytych do budowy modelu zastosowano metodę ankietową oraz metody analizy statystycznej danych. W celu zdefiniowania reguł zachowania się konsumentów zastosowano teorię zbiorów przybliżonych.

Model symulacyjny zachowania konsumentów został zbudowany z użyciem symulacji wieloagentowej, przy wykorzystaniu specjalistycznego narzędzia symulacyjnego AnyLogic. W wieloagentowej symulacji komputerowej, badany układ jest modelowany jako zbiór autonomicznych jednostek zwanych agentami. Procesy decyzyjne są opisywane w mikro skali oddzielnie dla każdego agenta. Poprzez integrację działań wielu agentów oraz ich interakcję ze środowiskiem, w którym funkcjonują, powstaje obraz zjawiska w skali makro<sup>1</sup>.

Następny krok w procedurze badawczej to weryfikacja i walidacja modelu. Zastosowano w nim wybrane metody weryfikacji programów komputerowych w celu wyeliminowania błędów z kodu, a następnie przeprowadzono walidację modelu posługując się metodą studiów przypadku. Na bazie wyników eksperymentów symulacyjnych odnoszących się do przykładowych strategii marketingowych przeprowadzono walidację fasadową z udziałem ekspertów dziedzinowych.

Ostatnim krokiem procedury było sformułowanie wniosków oraz wskazanie możliwych zastosowań zaproponowanego modelu w oparciu o wyniki eksperymentów oraz opinie ekspertów dziedzinowych.

---

<sup>1</sup> SIEBERS, P.-O. & AICKELIN, U. 2008. Introduction to multi-agent simulation. *arXiv preprint arXiv:0803.3905*.

#### **4. Struktura pracy**

Zastosowana procedura badawcza wpłynęła na układ pracy, której treść zasadnicza składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów oraz uwag końcowych. W wprowadzeniu przedstawiony zostanie problem badawczy, zdefiniowany cel, sformułowana hipoteza, a także wprowadzona zostanie procedura badawcza wraz z krótkim opisem zakresu pracy oraz zastosowanych metod.

Pierwszy rozdział dotyczy problematyki związanej z badaniem zachowania konsumentów. Między innymi zarysowano w nim podstawy tego typu badań, omówiono czynniki wpływające na zachowania konsumentów a także etapy procesu zakupowego oraz podstawowe wzorce zachowania konsumentów.

W rozdziale drugim skoncentrowano się na dylematach metodologicznych badań nad zachowaniem konsumentów. Istotną część rozdziału stanowi krytyczny przegląd metod, które są używane do modelowania zachowania konsumentów. Omówiono w nim również przesłanki zastosowania symulacji wieloagentowej w analizie zachowania konsumentów wykazując przy tym szczególną przydatność tego podejścia w badaniach marketingowych.

W rozdziale trzecim została przedstawiona szczegółowo proponowana procedura metodyczna wraz z opisem wykorzystywanych teorii, metod i technik, wśród których znalazły się: metoda ankietowa, teoria zbiorów przybliżonych, symulacja wieloagentowa oraz technika scenariuszy. Ponadto w podrozdziale 3.3, zaprezentowano autorską koncepcję modelu wieloagentowego do badania zachowania konsumentów.

Rozdział czwarty jest w całości poświęcony omówieniu procesu budowy wieloagentowego modelu symulacyjnego na podstawie zaprezentowanej wcześniej koncepcji. Jako studium przypadku przyjęto zachowanie się konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych. Dane empiryczne do budowy modelu zostały zebrane w mieście Basra (Irak) metodą ankietową, zarówno wśród klientów (976 ankiet, w tym 527 poprawnie wypełnionych) jak i sprzedawców urządzeń elektrycznych (50 ankiet, w tym 35 poprawnie wypełnionych). Analiza statystyczna zebranych danych pozwoliła na zidentyfikowanie wpływu elementów marketingu mix, czynników społecznych i psychologicznych na zachowania klientów, natomiast teoria zbiorów przybliżonych na wygenerowanie reguł, jakimi kierują się oni podczas podejmowania decyzji zakupowych na rynku urządzeń elektrycznych. Wyniki przeprowadzonej analizy danych zostały wykorzystane jako dane wejściowe do modelu zachowania konsumentów.

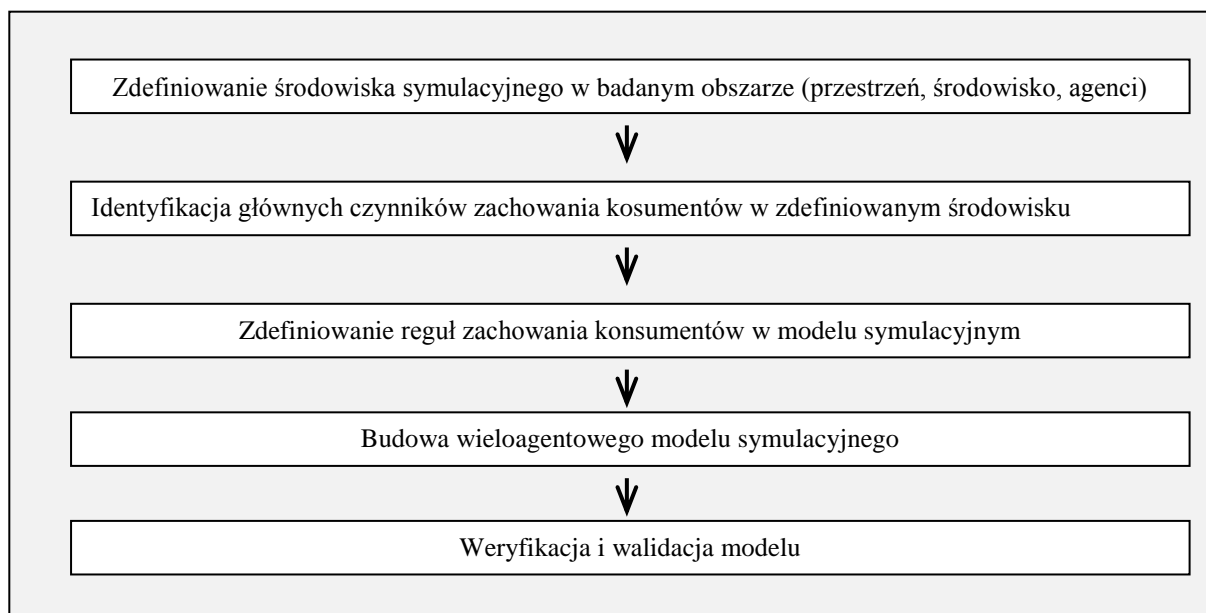
W rozdziale piątym zarysowano, na podstawie literatury przedmiotu, problematykę weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych oraz omówiono procedurę sprawdzania poprawności modelu zastosowaną w dysertacji. Ponadto przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, przeprowadzonych z wykorzystaniem utworzonego modelu. Badania zrealizowano z użyciem pakietu symulacyjnego AnyLogic. W końcowej części rozdziału piątego przedstawiono możliwe kierunki zastosowania i rozwijania proponowanego podejścia.

W uwagach końcowych zawarto podstawowe wnioski odnoszące się do przeprowadzonych badań oraz przedstawiono elementy nowości.

## 5. Wyniki przeprowadzonych badań

### 5.1. Ramy metodologiczne analizy zachowania konsumentów

Głównym celem niniejszej pracy było wypracowanie podstaw metodologicznych analizy zachowania konsumentów opartych na zastosowaniu symulacji wieloagentowej oraz teorii zbiorów przybliżonych, a także przeprowadzenie badań symulacyjnych z wykorzystaniem opracowanej metodologii. Opracowane ramy metodologiczne analizy zachowania konsumentów przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ramy metodologiczne analizy zachowania konsumentów z wykorzystaniem symulacji wieloagentowej

### ***Zdefiniowanie środowiska symulacyjnego***

Analiza zachowania konsumentów przy użyciu metodologii zaproponowanej w niniejszej pracy rozpoczyna się od zdefiniowania środowiska symulacyjnego. Opracowane ramy metodologiczne wykorzystano do zbudowania modelu wieloagentowego oraz przeprowadzenia badań symulacyjnych na przykładzie rynku urządzeń elektrycznych w mieście Basra.

Basra to miasto na południu Iraku. Zostało ono wybrane z następujących powodów:

- Jest to drugie największe miasto w Iraku pod względem populacji i obszaru.
- Jest jednym z najważniejszych miast w ze względu na port, przez który odbywa się większość eksportu ropy naftowej.

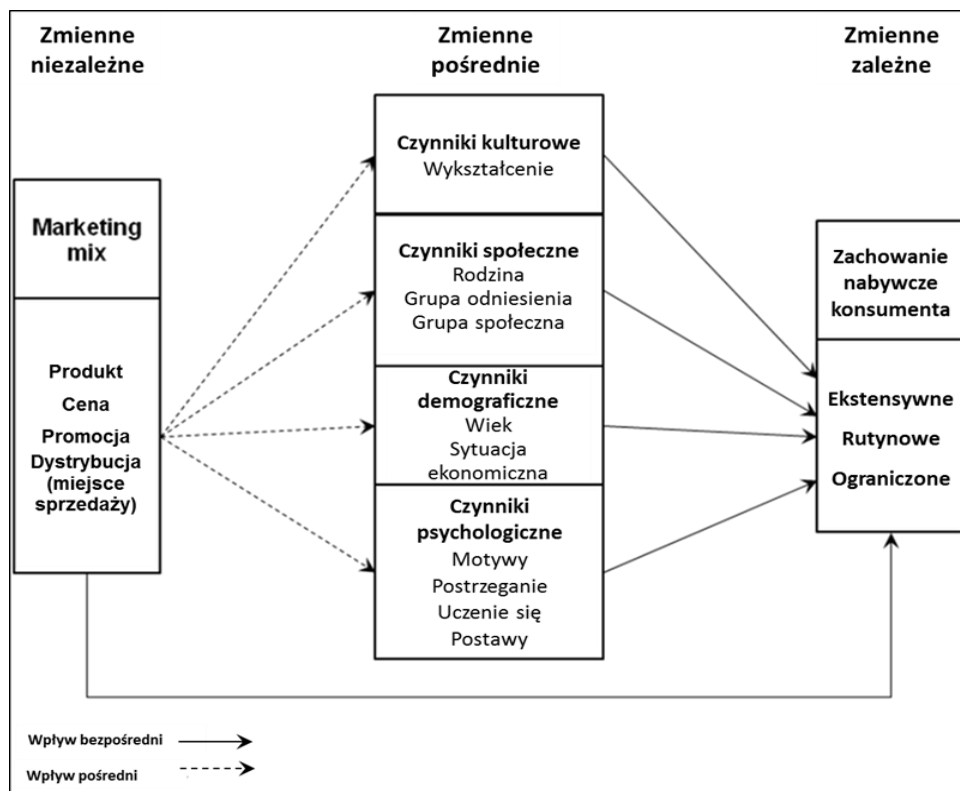
Model konsumenta w symulacji wieloagentowej wymaga uchwycenia zmieniającego się zachowania oraz interakcji pomiędzy wszystkimi komponentami systemu. Założeniem symulacji wieloagentowej jest określenie reguł behawioralnych dla jednostek (agentów), które są odzwierciedleniem ich interakcji. Przy użyciu modelu komputerowego można „wysymulować” dużą liczbę agentów, a następnie pokazać konsekwencje działania reguł określonych na poziomie pojedynczego agenta dla całej populacji agentów.

W modelu zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych w Basrze zdefiniowano dwa rodzaje agentów:

1. **Agent konsument:** reprezentujący osobę dokonującą zakupu urządzenia elektrycznego, charakteryzującą się wieloma parametrami oraz zmiennymi (przykładowo: cechy demograficzne, nastawienie behawioralne, czynniki mające wpływ na zachowanie). Środowisko, w którym porusza się agent konsument w modelu symulacyjnym to sklep z urządzeniami elektrycznymi.
2. **Agent sprzedawca:** reprezentujący firmę zajmującą się sprzedażą urządzeń elektrycznych, charakteryzującą się wieloma cechami, np. typ sklepu (magazyn, sklep detaliczny), lokalizacja, rodzaj stosowanych środków reklamy (radio, billboard, lokacja produktu), promocje (zniżki) oraz ich zakres.

### ***Identyfikacja głównych czynników zachowania konsumentów***

Analiza literatury przedmiotu pozwoliła na zbudowanie wstępnego modelu czynników wpływających na zachowanie się konsumentów. Jest on przedstawiony na rys. 2. Na jego podstawie wypracowano dwa kwestionariusze ankiet – jeden adresowany do konsumentów a drugi do firm zajmujących się sprzedażą urządzeń elektrycznych.



Rys. 2. Czynniki mające wpływ na zachowania konsumentów

Pytania w pierwszym kwestionariuszu podzielone były na dwie części, które dotyczyły: (1) ogólnych informacji takich jak wiek, wykształcenie, płeć oraz miejsce zamieszkania, (2) wpływu zidentyfikowanych na podstawie literatury przedmiotu czynników na konsumenta i jego zachowanie.

Drugi kwestionariusz został podzielony na sześć części, w których zawarto pytania dotyczące: (1) miejsca sprzedaży, (2) cech sprzedawanych produktów, (3) stosowanych strategii promocyjnych, (4) stosowanych strategii reklamowych, (5) czasu zamówienia oraz otrzymania produktów, (6) obserwowanych nawyków konsumentów.

Badanie przeprowadzono od grudnia 2011 do lutego 2012 w Basrze przy użyciu 976 kwestionariuszy dla konsumentów oraz 50 kwestionariuszy dla sprzedawców. Po wyeliminowaniu błędnie wypełnionych formularzy, pozostało 527 kwestionariuszy konsumentów oraz 35 kwestionariuszy sprzedawców.

Otrzymane dane poddano analizie z wykorzystaniem metod statystycznych używając oprogramowania specjalistycznego SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Zastosowano współczynnik rzetelności Cronbacha w celu przetestowania wewnętrznej spójności kwestionariuszy. W celu określenia relacji pomiędzy zmiennymi zastosowano



współczynnik korelacji Pearsona oraz jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Finalnie przeprowadzono regresję wieloraką w odniesieniu do zachowania oraz wszystkich badanych czynników.

Tabela 1 pokazuje wyniki regresji wielorakiej. Przyjęto, że jeżeli istotność testu (Sig.) dla każdej wartości Beta spada poniżej 0,05 to zmienna odpowiadająca tej wartości jest statystycznie istotna. Hipotezy 5 i 7 są odrzucone, ponieważ Sig. > 0,05, pozostałe zostały przyjęte.

Tabela 1 . Wyniki regresji wielorakiej

	Hipoteza	Niestandaryzowane współczynniki		Stantaryzowane współczynniki	Wartość <i>t</i>	Sig.	Decyzja
		B	Błąd standardowy	Beta			
1	Cechy sprzętu elektrycznego są ściśle powiązane z zachowaniem konsumentów.	0,191	0,025	0,212	7,531	0,000	przyjęta
2	Czynnik ceny jest ściśle powiązany z zachowaniem konsumentów.	0,102	0,022	0,301	4,695	0,000	przyjęta
3	Czynnik promocji jest ściśle powiązany z zachowaniem konsumentów.	0,091	0,020	0,193	4,502	0,000	przyjęta
4	Czynnik lokalizacji jest ściśle powiązany z zachowaniem konsumentów.	0,106	0,027	0,170	3,960	0,000	przyjęta
5	Czynniki kulturowe są ściśle powiązane z zachowaniem konsumentów.	0,013	0,017	0,034	0,779	0,436	odrzucona
6	Czynniki społeczne są ściśle powiązane z zachowaniem konsumentów.	0,185	0,027	0,288	6,881	0,000	przyjęta
7	Czynniki osobiste są ściśle powiązane z zachowaniem konsumentów.	0,022	0,018	0,055	1,255	0,210	odrzucona
8	Czynniki psychologiczne są ściśle powiązane z zachowaniem konsumentów.	0,288	0,026	0,441	11,244	0,000	przyjęta

Wyniki analizy statystycznej pozwoliła na wykrycie czynników, które są istotne w procesie podejmowania decyzji konsumentów, i które powinny być ujęte w opracowywanym modelu wieloagentowym.

### ***Zdefiniowanie reguł zachowania konsumentów***

Zachowania konsumentów odtwarzane w modelach wieloagentowych są w dużej mierze charakteryzowane przez wzajemne powiązania między różnymi elementami modelu.

W pracy identyfikowano dwa rodzaje reguł modelowania. Reguły dotyczące zachowania wykryto przy pomocy teorii zbiorów przybliżonych na podstawie zebranych danych, a pozostałe reguły zdefiniowano na podstawie kwestionariusza, analizy statystycznej i konsultacji z ekspertami w zakresie marketingu i modelowania symulacyjnego.

Zebrane dane zostały przeanalizowane metodą zbiorów przybliżonych przy użyciu programu DAT (Data Analysis Toolbox), działającego w środowisku MATLAB R2019a. W rezultacie okazało się, że tylko 15 atrybutów warunkowych jest istotnych (38 atrybutów jest zbędnych), dalsze badania więc przeprowadzono tylko w oparciu o atrybuty istotne.

Stworzono pięć tabel zawierających w sumie 419 reguł dotyczących pięciu różnych typów zachowań konsumenckich:

- rutynowe i częściowo ograniczone zachowania konsumenckie, 156 reguł;
- rutynowe zachowanie konsumenckie, 47 reguł;
- ograniczone zachowanie konsumenckie, 147 reguł;
- ograniczone i częściowo ekstensywne zachowanie konsumenckie, 36 reguł;
- ekstensywne zachowanie konsumenckie, 33 reguły.

Ostatnim krokiem było uproszczenie reguł oraz wybranie tych, które poparte były największą liczbą przypadków. Tabela 2 pokazuje przykładowe reguły dla każdego typu zachowań konsumenckich.

Tabela 2. Atrybuty warunkowe oraz wybrane reguły algorytmu decyzyjnego

Atrybuty warunkowe:	
Wiek: v1 = [18-24), v2 = [25-34), v3 = [35-44), v4 = [45-54), v5 = [55 i więcej]	
Dochód (\$): v1 = [mniej niż 299], v2 = [299-499], v3 = [500-699 ], v4 = [700-999], v5 = więcej niż 1000	
Wykształcenie: v1=bez wykształcenia, v2=podstawowe, v3=średnie, v4=średnie wyższe, v5=wyższe	
Q 7..Q 20: A1 = całkowicie się nie zgadzam lub nie zgadzam się, A2 = jest mi to obojętne, A3 = zgadzam się lub całkowicie się zgadzam.	
Zasada nr.	Reguły rutynowego i częściowo ograniczonego zachowania konsumenckiego (B1)
1	Jeżeli wiek=v2 i wyksz.=v5 i dochód≠v1 i Q8 = A1 to B1
2	Jeżeli wiek =v3 i wyksz.=v1 lub v2 i Q7=A3 i Q8=A1 lub A3 i Q9=A1 lub A3 i Q10=A3 i Q12=A1 lub A3 i Q13=A3 i Q15=A3 i Q16=A1 lub A3 i Q18=A3 i Q19=A2 lub A3 i Q20=A2 or A3 to B1
Reguły rutynowego zachowania konsumentckiego (B2)	
3	Jeżeli wiek =v3 i wyksz. >=v3 i Q9=A1 i Q10=A1 lub A2 to B2
4	Jeżeli wiek =v2 i wyksz.=v4 lub v5 i Q8=A2 lub A3 i Q10=A1 lub A3 i Q15=A2 lub A3 i Q16=A2 lub A3 i Q18=A2 lub A3 i Q19=A2 lub A3 i Q20=A3 to B2

Reguły ograniczonego zachowania konsumentckiego (B3)	
5	Jeżeli wiek =v1 i wyksz.=v4 i Q7=A2 lub A3 i Q10=A3 i Q12=A1 lub A2 i Q13=A1 lub A3 i Q16=A1 lub A3 i Q18=A2 lub A3 i Q19=A3 i Q20=A2 lub A3 to B3
6	Jeżeli wiek =v2 i wyksz.=v3 i Q7=A3 i Q9=A1 lub A3 i Q10=A1 lub A3 i Q15=A2 lub A3 i Q16=A2 lub A3 i Q17=A lub A3 i Q18=A2 lub A3 i Q19=A lub A3 to B3
Reguły ograniczonego i częściowo ekstensywnego zachowania konsumentckiego (B4)	
7	Jeżeli wiek =v4 i wyksz.=v4 lub 5 i dochód>=v3 i Q13=A1 i Q15=A2 i Q16=A1 i Q19=A3 to B4
8	Jeżeli wiek =v1 i wyksz.=v3 lub v4 i dochód>=v2 i Q8=A1 lub A2 i Q9=A1 lub A3 i Q10=A3 i Q16=A2 lub A3 i Q17=A1 lub A3 i Q18=A1 lub A3 i Q19=A1 lub A3 to B4
Reguły ekstensywnego zachowania konsumentów (B5)	
9	Jeżeli wiek >=v3 i wyksz.>=v3 i dochód>=v5 i Q7=A2 lub A3 i Q10=A2 lub A3 i Q11=A1 i Q12=A2 lub A3 i Q17=A2 lub A3 i Q18=A2 lub A3 i Q19=A2 lub A3 to B5
10	Jeżeli wiek =v4 i wyksz.=v2 w dochód=v1 lub v2 i Q7=A1 lub A3 i Q8=A1 lub A3 i Q9=A3 i Q10=A3 i Q12=A1 lub A3 i Q13=A1 lub A3 i Q15=A1 lub A3 i Q16=A1 lub A3 i Q17=A1 lub A3 i Q18=A3 i Q19=A3 i Q20=A3 to B5

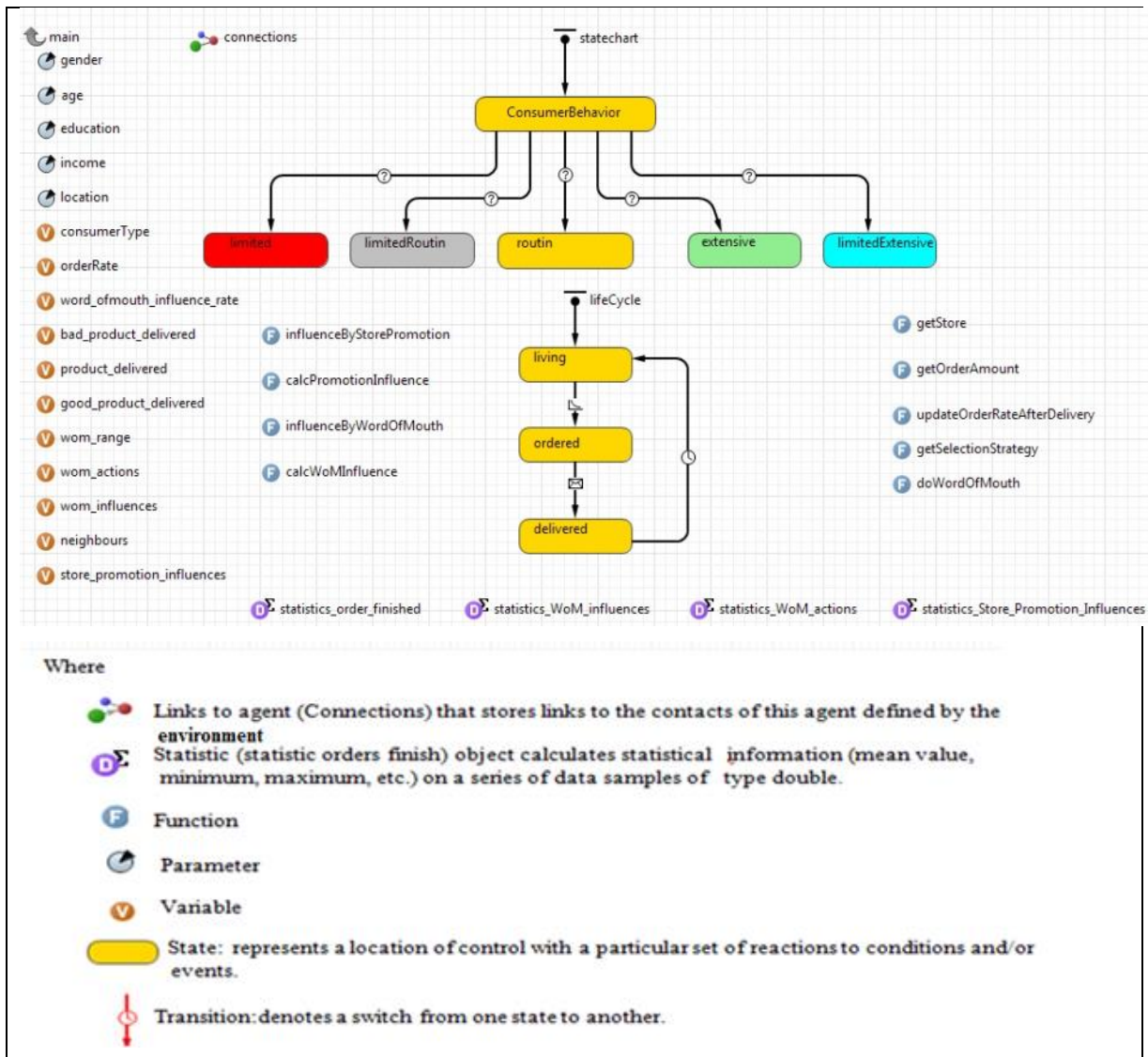
Reguły te pokazują różnice w zachowaniu konsumentów w Basrze podczas podejmowania decyzji zakupowych w sklepie elektrycznym. Otrzymane reguły wykorzystano do budowy budowy wieoloagentowego modelu zachowań konsumentów.

Dodatkowo, na podstawie zebranych danych z kwestionariusza, wyników analizy statystycznej, konsultacji z ekspertami w centrum handlowym w Basrze oraz specjalistami z zakresu modelowania symulacyjnego, zidentyfikowano następujące reguły:

- **reguły dotyczące zachowań konsumentów wynikające z działania marketingu szeptanego.** Reguły te opierają się na atrybutach społecznych określonych w kwestionariuszu. Atrybuty takie jak dochód i wiek konsumenta mają wyraźny wpływ na odbiór przez niego przekazu ustnego pochodzącego od innego konsumenta, który zakupił dany produkt i z niego korzysta. Innym czynnikiem mającym wpływ na odbiór przekazywanej informacji jest wykształcenie obiorcy wiadomości oraz to czy osoba przekazująca informację jest od niego starsza.
- **reguły dotyczące zachowań konsumentów wynikające z działania akcji promocyjnych.** Reguły te stworzono w oparciu o analizę atrybutów związanych z promocją produktu np. wpływu reklamy oraz obniżki ceny danego produktu. Stwierdzono, że oba te czynniki zwiększają częstotliwość zakupów dokonanych przez konsumentów.

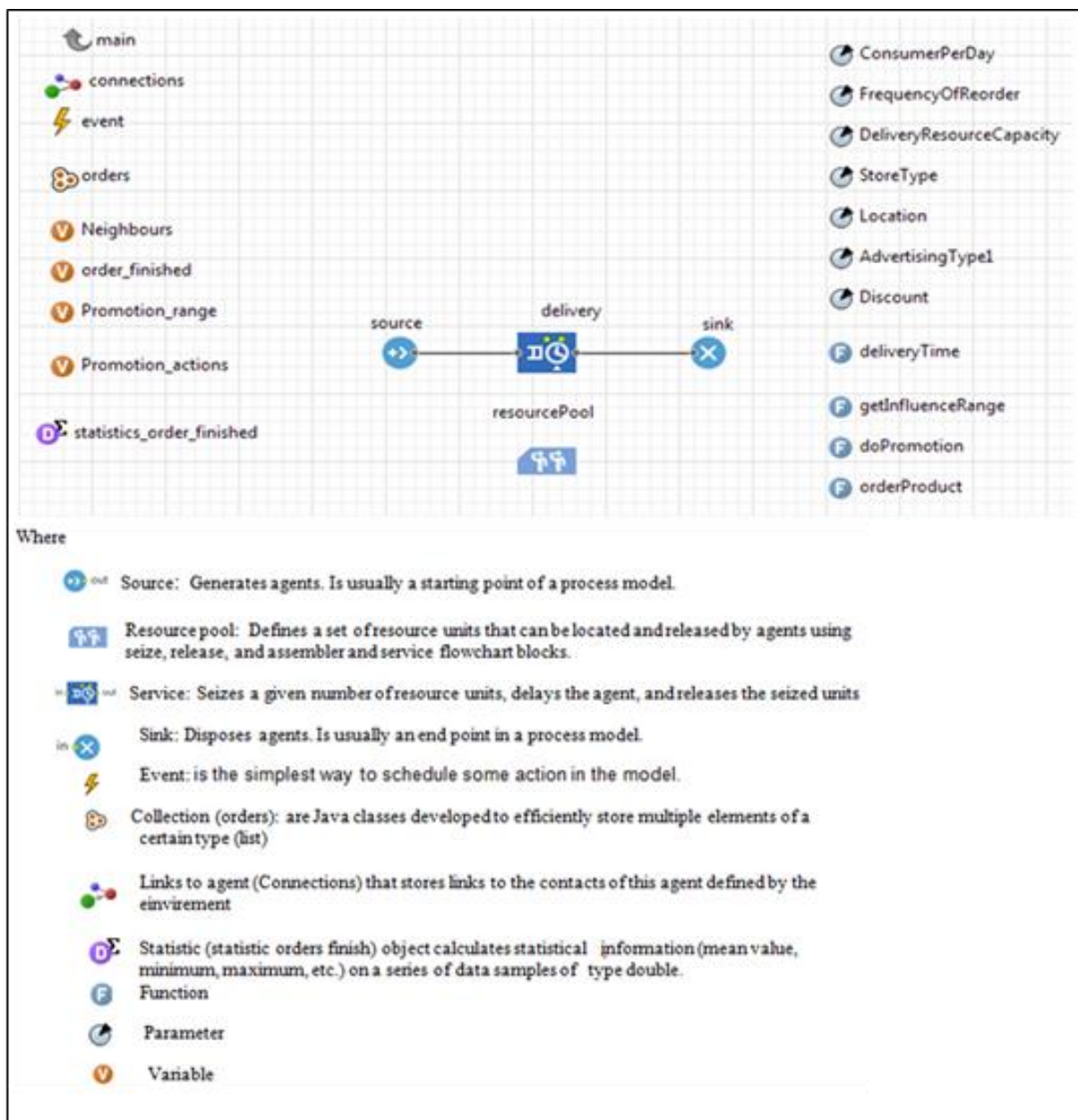
## Budowa wieloagentowego modelu symulacyjnego

W modelu wieloagentowym, agenci są zazwyczaj programowane z użyciem specjalistycznego narzędzia komputerowego jako obiekty posiadające pewne cechy (zmienne instancji) oraz powiązane z nimi reguły zachowania (funkcje). W celu zbudowania modelu w niniejszej pracy posłużono się pakietem symulacyjnym AnyLogic.



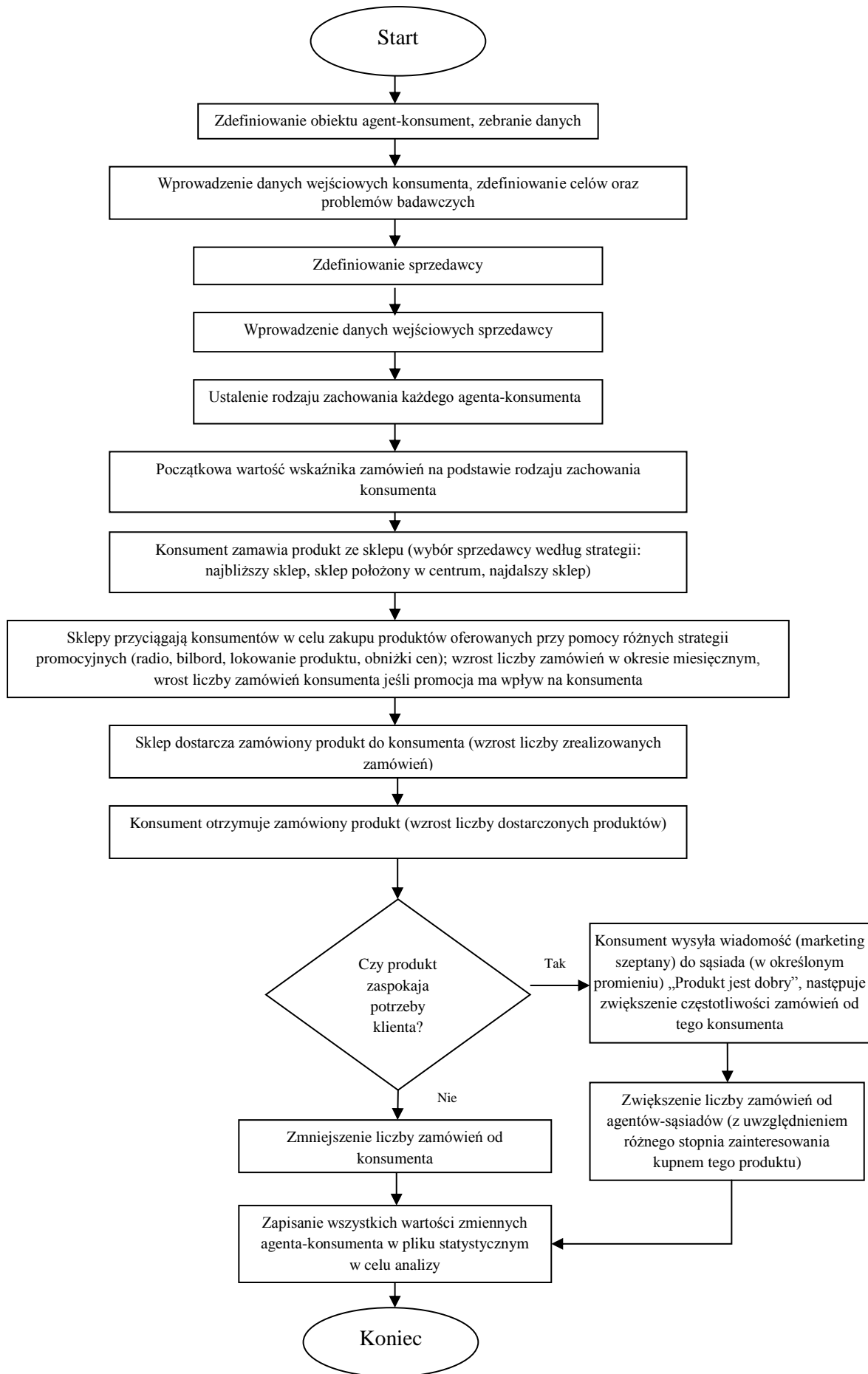
Rys. 3. Struktura submodelu agenta - konsumenta

Na rys. 3 zaprezentowano strukturę submodelu agenta - konsumenta w notacji pakietu AnyLogic. Zawiera ona parametry, zmienne oraz funkcje obiektu konsument. Agent - konsument jest modelowany jako ożywiony, a zatem może działać autonomicznie i wchodzić w interakcje z innymi agentami. Rys. 4 z kolei przedstawia strukturę submodelu agenta – sprzedawcy zawierającą właściwe dla tego typu agenta parametry, zmienne i funkcje.



Rys. 4 Struktura submodelu agenta - sprzedawcy

Rys. 5 prezentuje algorytm cyklu życiowego zachowania agenta - konsumenta zaimplementowany w modelu wieloagentowym.

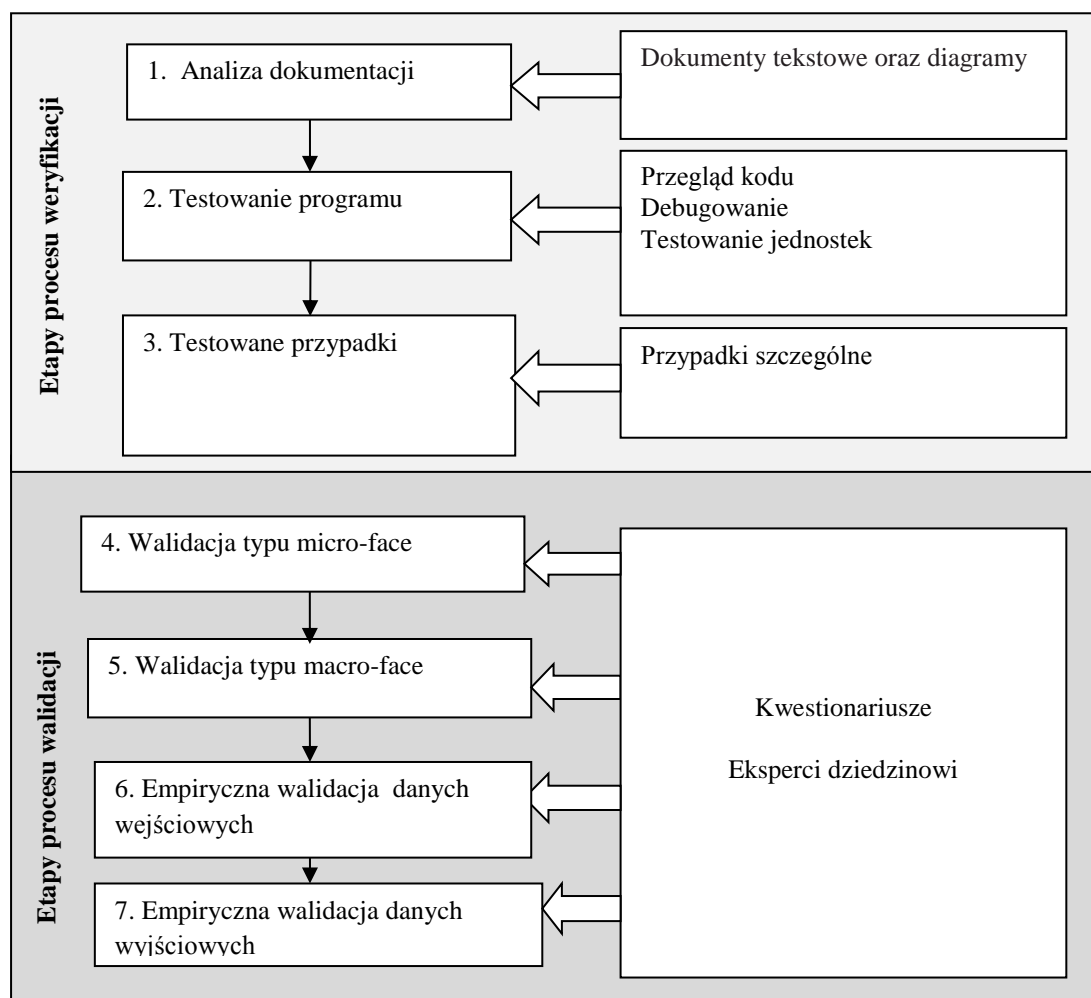


Rys. 5 Algorytm cyklu życia agenta-konsumenta

## Weryfikacja i walidacja modelu

Podczas weryfikacji i walidacji przeprowadza się szereg testów na modelu mających potwierdzić, że model jest poprawny. Weryfikacja ma na celu zapewnienie, że model jest prawidłowo zaprogramowany, że algorytmy zostały prawidłowo zaimplementowane, a model nie zawiera błędów syntaktycznych i formalnych, natomiast walidacja odnosi się do tego, czy model reprezentuje i poprawnie odtwarza zachowania obserwowane w systemie rzeczywistym.<sup>2</sup>

W niniejszej pracy przeprowadzając weryfikację i walidację posłużono się procedurą przedstawioną na rys. 6.



Rys. 6. Procedura weryfikacji i walidacji modelu

Przy realizacji procesu weryfikacji modelu przeprowadzono wiele eksperymentów symulacyjnych z użyciem różnych danych wejściowych, podczas których można było się

<sup>2</sup> NORTH, M. J. & MACAL, C. M. 2007. *Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*, Oxford University Press.

posłużyć funkcjami oferowanymi przez pakiet AnyLogic (np. Traceln). W wyniku uzyskano model wolny od błędów formalnych, który został poddany procesowi walidacji.

Proces walidacji modelu polegał na zaprojektowaniu i przeprowadzeniu eksperymentów symulacyjnych odpowiadających różnym scenariuszom strategii marketingowych. Wyniki eksperymentów symulacyjnych zostały następnie przedstawione do oceny ekspertom dziedzinowym. W tym celu opracowano autorski kwestionariusz, który został wypełniony przez 10 ekspertów (z 25 zaproszonych do badania) - zarówno menadżerów jak i ekspertów akademickich (profesorów i doktorów) reprezentujących różne specjalności naukowe (zarządzanie, modelowanie i symulacja). Wszyscy eksperci potwierdzili poprawność mechanizmów i właściwości modelu w odniesieniu do obserwowanych w systemie rzeczywistym. Niektórzy z ekspertów dodatkowo wskazali kierunki dalszego udoskonalenia modelu. Odpowiedzi pochodzące od ekspertów potwierdzają wiarygodność modelu i możliwość stosowania jego jako efektywnego narzędzia wspomaganie decyzji marketingowych oraz testowania różnych strategii marketingowych w dowolnym okresie (miesiąc, rok, wiele lat).

## 5.2. Wyniki wybranych eksperymentów symulacyjnych

Przy użyciu przedstawionego modelu symulacyjnego można przeprowadzać praktycznie nieograniczoną liczbę eksperymentów symulacyjnych pozwalających na weryfikację różnych hipotez decyzyjnych z zakresu planowania marketingowego, nie ingerując przy tym w żywy organizm systemu. Dane wejściowe do eksperymentów symulacyjnych dotyczące parametrów i zmiennych opisujących agentów w modelu (konsumentów i sprzedawców) oparte były na wynikach uzyskanych z teorii zbiorów przybliżonych oraz analizy statystycznej. W tabeli 3 zestawiono wartości podstawowych parametrów wejściowych do modelu.

Tabela 3. Wartości podstawowych parametrów (w przeliczeniu na dzień)

<b>Parametr</b>	<b>Wartość</b>
Liczba agentów-konsumentów	100000
Liczba agentów-sprzedawców	100
Obniżka (procent sprzedawców oferujących obniżkę)	20%
Procent produktów dobrej jakości w całym wolumenie produktów	70%
Korekta wskaźnika zamówień dobrej jakości produktów	0,0001
Korekta wskaźnika zamówień złej jakości produktów	0,0001



Parametr	Wartość
Minimalna częstotliwość zamówień	0
Maksymalna częstotliwość zamówień	0,0138 (5 zamówień rocznie)
Zasięg promocji	5 km
Zasięg marketingu szeptanego	1 km
Wybór sprzedawcy dokonywany przez konsumenta na podstawie odległości od miejsca zamieszkania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 40% konsumentów preferuje sklepy najbliższe domu</li> <li>- 45% konsumentów preferuje sklep w centrum miasta</li> <li>- dla 15% konsumentów odległość nie ma znaczenia</li> </ul>

W celu pokazania możliwości modelu poniżej zaprezentowano wyniki eksperymentów symulacyjnych dotyczących pięciu przykładowych strategii marketingowych:

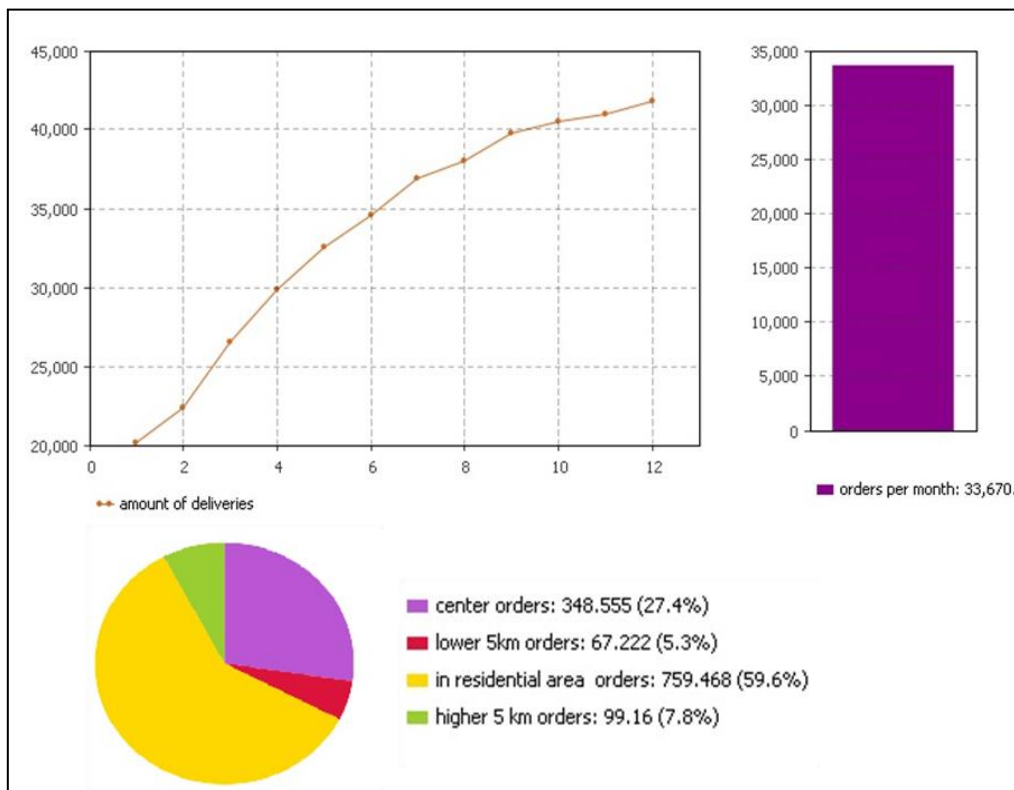
- **Strategia 1** – zwiększony procent sprzedawców oferujących promocję ze zniżką (z 20% do 50% wszystkich sprzedawców).
- **Strategia 2** – zwiększona liczba sprzedawców (ze 100 do 110).
- **Strategia 3** – zwiększona liczba sprzedawców (ze 100 do 110) oraz zasięg reklamy (z 5 do 10 km).
- **Strategia 4** – zmniejszona liczba produktów dobrej jakości w całym asortymencie (z 70% do 50%).
- **Strategia 5** – zwiększona liczba produktów dobrej jakości w całym asortymencie (z 70% do 90%).

W tab. 4 zestawiono wyniki eksperymentów symulacyjnych odnoszących się do poszczególnych scenariuszy z wynikami eksperymentu bazowego. Najwyższa liczba zamówionych produktów na miesiąc występuje dla strategii 1 (33 670 produktów), zaraz potem plasuje się strategia 5 (31 905 produktów). Wymienione strategie odnotowują również najwyższy procent zadowolonych konsumentów (na poziomie odpowiednio: 77% i 87%). Najniższy procent niezadowolonych konsumentów występuje dla strategii 5 (7%). Z tabeli wynika, że zarówno strategia 1, jak i 5 odnotowują najniższy procent osób, które nie kupiły produktu (6%). Najmniej różniące się wyniki od symulacji bazowej generuje strategia 2.

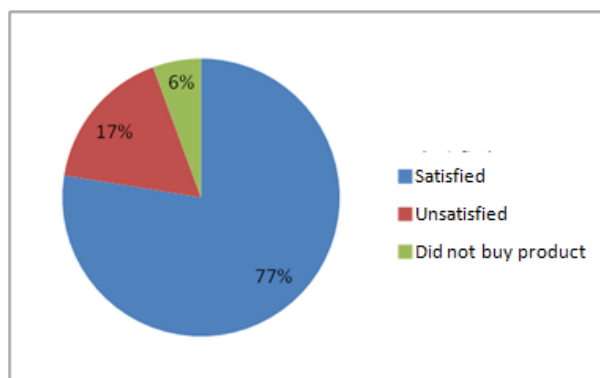
Tabela 4. Wyniki przykładowych eksperymentów symulacyjnych

Strategia	Miesięczne zamówienia produktów	Procent osób zadowolonych z produktu	Procent osób niezadowolonych z produktu	Procent osób, które nie kupiły produktu
Przebieg bazowy	13 474	71%	19%	10%
Strategia 1	33 670	77%	17%	6%
Strategia 2	16 123	72%	18%	10%
Strategia 3	22 350	75%	18%	7%
Strategia 4	9 934	48%	42%	10%
Strategia 5	31 905	87%	7%	6%

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 4 pozwala na zarekomendowanie strategii 1 oraz strategii 5 na rynku urządzeń elektrycznych w mieście Basra. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wyniki eksperymentu symulacyjnego dla strategii 1 w postaci wykresów. Rys. 7 pokazuje, że w sytuacji gdy procent sprzedawców oferujących obniżoną cenę produktu wzrasta z 20% do 50%, to zwiększa się liczba zamówień produktów w miesiącu w porównaniu z wartością bazową z 13474 do 33670 produktów. Na rysunku zamieszczono również wykres kołowy przedstawiający średnią liczbę zamówień produktów w zależności od lokalizacji sprzedawcy. Najwięcej zamówień wpływa do sprzedawców zlokalizowanych w dzielnicach poza centrum, potem dopiero do sprzedawców w centrum miasta. Wyniki te sugerują, iż większość konsumentów woli kupować produkt od najbliższej zlokalizowanego sprzedawcy lub też w centrum miasta. Na kolejnym rysunku (rys. 8) zaprezentowano proporcje kategorii konsumentów (zadowolony, niezadowolony, nie kupił żadnego produktu) dla badanego układu w okresie jednego roku. Z eksperymentu wynika, że najwięcej jest zadowolonych konsumentów (77%), 17% niezadowolonych, a 6% nie kupiło żadnego produktu w badanym roku.



Rys. 7. Przykładowe wyniki eksperymentu symulacyjnego dla strategii 1



Rys. 8. Proporcje w kategoriach konsumentów dla strategii 1

Analogicznie można zaprezentować wyniki eksperymentów symulacyjnych dla pozostałych analizowanych strategii marketingowych. Oczywiście wyniki symulacji nie są ograniczone tylko i wyłącznie do przedstawionych na rysunkach parametrów i zmiennych. Dane symulowane pozwalają na głęboką analizę zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych w podziale na na różne kategorie konsumentów oraz typy sprzedawców.

## 6. Wnioski

Przeprowadzone w pracy badania i rozważania pozwoliły na pozytywne zweryfikowanie hipotez oraz realizację celu pracy.

Pierwsza hipoteza mówiąca, że symulacja wieloagentowa może być z powodzeniem stosowana jako metoda wspierania decyzji marketingowych została potwierdzona zarówno poprzez porównanie jej z innymi metodami modelowania zachowań konsumenckich w rozdziale drugim, jak i wyniki badań empirycznych zaprezentowane w rozdziale piątym.

Druga hipoteza, będąca rozszerzeniem i uszczegółowieniem pierwszej hipotezy, głosząca, że wieloagentowy model symulacyjny pozwala na (1) prognozowanie zachowania wielu konsumentów, (2) ocenę jednoczesnego wpływu różnych czynników na zachowania konsumentów, (3) testowanie alternatywnych strategii marketingowych, została potwierdzona w rozważaniach przedstawionych w rozdziałach czwartym i piątym. Dotyczyły one zarówno procesu budowy modelu wieloagentowego do badania zachowania konsumentów, jak i prowadzenia na nim eksperymentów symulacyjnych.

Podsumowując można stwierdzić, że symulacja wieloagentowa jest dobrą metodą analizy zachowań konsumentów, radzącą sobie z dynamicznymi zmianami i złożonością świata rzeczywistego.

Warte zaznaczenia elementy nowości w pracy to: (1) opracowanie uniwersalnej metodyki analizy zachowania konsumentów bazującej na symulacji wieloagentowej oraz teorii zbiorów przybliżonych; (2) zaproponowanie autorskiej koncepcji modelu wieloagentowego do badania zachowania konsumentów; (3) egzemplifikacja modelu dla rynku urządzeń elektrycznych na podstawie danych pochodzących z badań ankietowych przeprowadzonych na podstawie autorskich formularzy (dla klientów i sprzedawców); (4) wyznaczenie reguł zachowania się konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych na potrzeby modelu wieloagentowego z wykorzystaniem teorii zbiorów przybliżonych; (5) przeprowadzenie badań symulacyjnych na podstawie autorskich scenariuszy strategii marketingowych; (6) zbadanie poprawności modelu z wykorzystaniem procedury opartej na walidacji fasadowej z udziałem ekspertów dziedzinowych na podstawie autorskiego formularza oceny modelu.

Uzupełniając powyższe, należy podkreślić, że wartością dodaną dysertacji jest wybór studium przypadku, jakim są zachowania konsumentów na rynku urządzeń elektrycznych w mieście Basra. Basra jest drugim pod względem wielkości miastem w Iraku. Po 2003 roku Irak przeszedł ogromne zmiany polityczne, co zaowocowało zmianami zachowań konsumentów. Badania przedstawione w pracy są jedną z pierwszych prób analizy rosnącego rynku w Iraku, co więcej w ogóle jest niewiele badań dotyczących rynku urządzeń elektrycznych. Ponadto niewielu irackich naukowców zajmuje się badaniem zachowania konsumentów, zatem w tym kontekście badania pokazane w pracy mają charakter nowatorski.

Przyszłe prace mogą koncentrować się na badaniu innych wymiarów zachowań konsumentów (np. wpływ marki), a także wykorzystania proponowanego modelu do badania konsumentów na innych rynkach (np. rynek telefonów komórkowych). Ponadto możliwe jest rozszerzenie przedstawionego podejścia o zastosowanie w celu identyfikacji reguł zachowań konsumentów innych metod, np. sieci neuronowych lub algorytmów genetycznych.

## 7. Lista własnych publikacji

1. Furaiji F., Abdulah A. (2003) Two dimensional charts processing using Freeman chain. The Journal of Basrah Researches (Science), Vol. 29(2), Basra, Iraq (published in Arabic).
2. Furaiji F., Hussain K. (2005) Method to separate touching handwritten numeral pairs using structural analysis. The Journal of Basra Researches (Sciences), Vol. 32(2), Basra, Iraq, pp.12-19 (published in Arabic).
3. Furaiji F. (2010) Images enhancement using fuzzy median –average filter. Applied Informatics: Methods and Algorithms, University Szczecin, Szczecin, Poland, pp.119-130 (published in English).
4. Furaiji F., Łatuszyńska M (2011) Methods for gathering data for the study of consumer behavior. Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, Vol.250(58), Warsaw, Poland, pp. 77-88 (published in English).
5. Furaiji F., Łatuszyńska M. (2013) Comparison between the traditional approaches to study consumer behaviour and Multi Agent Based Simulation (MABS), Journal of AL Qadisiyah for computer science and mathematics, Vol. 5(1), Iraq (Published in Arabic).
6. Furaiji F., Łatuszyńska M., Wawrzyniak A. (2012) An Empirical Study of Factors Influencing Consumer Behavior in Electric Appliances Market. Contemporary Economics, Vol.6(3), Quarterly of University of Finance and Management, Warsaw, Poland, pp.76-86 (published in English ).
7. Furaiji F., Łatuszyńska M., Wawrzyniak A. (2013) The factors affecting of consumer behavior in the Iraqi market of home electrical appliances: Reconnaissance study of a sample of customers in the Basra city, Iraqi Journal of Market Researches & Consumer Protect, Vol. 5, Market Research & Consumer Protect Centre, Baghdad University, Iraq ,pp.58-77(published in Arabic).
8. Łatuszyńska M., Wawrzyniak A., Furaiji F. (2012) Symulacja wieloagentowa w badaniu zachowania konsumentów. Handel Wewnętrzny, Instytut Badan Rynku, Konsumpcji i Koniunktur, pp. 26-35, Warszawa (published in Polish ).
9. Wąsikowska B., Furaiji F. (2012) Badanie preferencji zakupowych kobiet i mężczyzn metodą zbiorów przybliżonych. Handel Wewnętrzny, Instytut Badan Rynku, Konsumpcji i Koniunktur, pp. 36-45, Warszawa (published in Polish)
10. Łatuszyńska M., Wawrzyniak A., Furaiji F. (2012) Multi-agent based simulation in investigating consumer behavior. Iraqi Journal of Market Researches & Consumer Protect, Vol 4(2) Market Research & Consumer Protect Centre, Baghdad University, Iraq, pp. 141-158 (published in English).

11. Wąsikowska B., Furaiji F. (2012) Application of rough set theory in identification of male and female purchase preferences, Fourth International Scientific Conference, College of computer science and mathematics, AL Qadisiyah University, Iraq (published in English).
12. Łatuszyńska M., Wawrzyniak A., Wąsikowska B., Furaiji F. (2012) Zastosowanie zbiorów przybliżonych do wykrywania reguł zachowania konsumentów na potrzeby wieloagentowego modelu symulacyjnego. Problemy Zarządzania nr 4 lub monografia 10(3), , Uniwersytet Warszawski, Warszawa, pp.104-123 (published in Polish).
13. Wawrzyniak A., Furaiji F. (2013) The concept of simulation model to study consumer behavior. Studia Informatica, Nr 32, Szczecin, pp. 121-136 (published in English).