

Tomasz OWCZAREK  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Ekonomii i Informatyki

## KOSZT ZMIANY ORGANIZACYJNEJ A KONKURENCJA W ŚRODOWISKU ZŁOŻONYM – PODEJŚCIE AGENTOWE

**Streszczenie.** Artykuł prezentuje wieloagentowy model symulacyjny, który posłużył do zbadania wpływu, jaki na poziom konkurencyjności w środowisku o określonej złożoności wywiera wielkość kosztu organizacyjnej zmiany. Model ten stanowi rozwinięcie modelu zaprezentowanego w [16], a opartego na propozycji S. Kauffmana.

## RESEARCH ON COST OF ORGANIZATIONAL CHANGE AND COMPETITION IN COMPLEX ENVIRONMENT – AN AGENT-BASED APPROACH

**Summary.** The article presents agent-based approach to research on cost of organizational change and its impact on competition level in complex environment. The multi-agent simulation model used here is based on the model proposed in [16] which utilizes Kauffman's *NK* model of fitness landscape.

### 1. Wstęp

Uważa się, że rozwój technologii informatycznych i telekomunikacyjnych oraz procesy globalizacyjne zmieniają sposób prowadzenia współczesnej działalności biznesowej [9]. Wobec wzrastającej złożoności produktów i skracania cyklu ich życia przedsiębiorstwa funkcjonują w coraz bardziej skomplikowanych sieciach zależności [6]. Chcąc utrzymać swoją konkurencyjność, współczesne firmy muszą po pierwsze – zmienić sposób postrzegania swoich rywali i relacji z nimi [3, 11], po drugie – być nastawione na ciągłe dostosowywanie się

do zmian zachodzących w otoczeniu [4, 13]. Ale zmiany te mogą być kosztowne i nie zawsze przynoszą spodziewane rezultaty [2].

Celem artykułu jest wykorzystanie wieloagentowego modelu symulacyjnego [1, 12, 14, 15, 17] do określenia wpływu wielkości kosztu zmiany organizacyjnej na ustanowiony poziom konkurencyjności w środowisku o określonej złożoności. Wykorzystany model stanowi rozwinięcie modelu zaprezentowanego w [16].

Artykuł zorganizowano w następujący sposób. W punkcie drugim opisano model *NK* Kauffmana, reprezentujący środowisko o określonym poziomie złożoności. Punkty trzeci i czwarty opisują szczegóły wykorzystanego modelu oraz warianty symulacji i ich rezultaty. W punkcie piątym zawarto podsumowanie i wskazano kierunki dalszych prac.

## 2. Model *NK* Kauffmana

W modelu *NK* Kauffmana [8] agenci są traktowani jako pewien SYSTEM, złożony z ustalonej liczby elementów. Kombinacja wartości tych elementów stanowi wewnętrzną strukturę agenta. Model *NK* przyporządkowuje tę wewnętrzną strukturę agenta do jego stopnia dopasowania, stanowiąc w ten sposób abstrakcyjną reprezentację tzw. krajobrazu dopasowania (*fitness landscape*). Stopień dopasowania agenta w sposób ścisły zależy od jego wewnętrznej struktury, która w odniesieniu do organizacji może być traktowana jako posiadane kompetencje, technologie, struktura organizacyjna czy ogólnie – sposób prowadzenia działalności.

### 2.1. Definicja formalna

W modelu Kauffmana główną rolę odgrywają dwa parametry:

- $N$  odpowiada za liczbę elementów, które składają się na agenta; wyższe  $N$  oznacza większą liczbę różnych typów agentów. Każdy element wnosi pewną część dopasowania.
- $K$  określa liczbę połączeń między elementami. Wielkość dopasowania, wnoszona przez każdy element, uzależniona jest od wartości, jaką przyjmuje ten element, oraz od wartości przyjmowanych przez  $K$  innych elementów.

W oryginalnym modelu występuje jeszcze jeden parametr, który określa liczbę wartości, jakie może przyjąć każdy element. W zastosowanym modelu przyjęto, że możliwe wartości dla każdego z elementów to 0 lub 1, stąd liczba różnych agentów wynosi  $2^N$ .

Jak zaznaczono wcześniej, każdy element  $s_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) wnosi wielkość dopasowania  $w_i$ , określoną przez model w momencie jego inicjacji. Jest to wartość losowa, wybierana z rozkładu jednostajnego, określonego na przedziale od 0 do 1. Dopasowanie agenta typu  $A$  jest obliczane jako średnia po wartościach dopasowania, wnoszonych przez elementy jego struktury wewnętrznej:

$$W^A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i^A . \quad (1)$$

W tabeli 1 pokazano przykład dwóch modeli z parametrami  $N = 2$  oraz  $K = 0$  (model a) i  $K = 1$  (model b) oraz obliczenia stopnia dopasowania przykładowych dwóch agentów w tych modelach.

Tabela 1

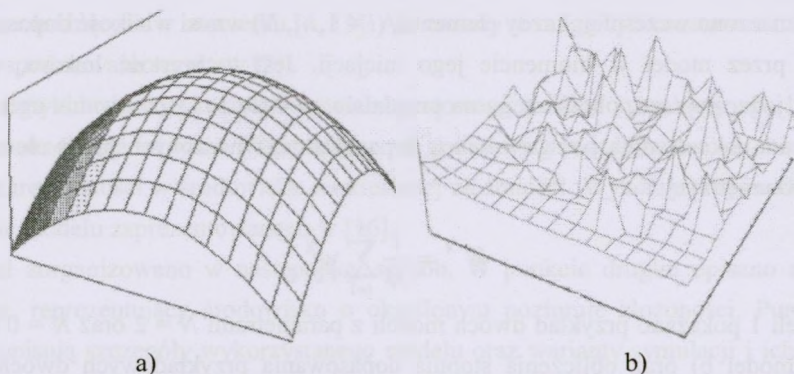
Przykładowe modele  $NK$ 

model a	elementy	dopasowanie $s_1$	dopasowanie $s_2$
$K = 0$ (elementy niezależne)	(0, *)	0,6	-
	(1, *)	0,3	-
	(* , 0)	-	0,1
	(* , 1)	-	0,4
Przykład 1: $W^{(1,1)} = (0,3 + 0,4)/2 = 0,35$			
model b	elementy	dopasowanie $s_1$	dopasowanie $s_2$
$K = 1$ (elementy zależne)	(0, 0)	0,4	0,8
	(0, 1)	0,7	0,3
	(1, 0)	0,5	0,9
	(1, 1)	0,6	0,5
Przykład 2: $W^{(1,1)} = (0,6 + 0,5)/2 = 0,55$			

## 2.2. Wyboistość krajobrazu

Główną cechą modelu  $NK$  jest możliwość ustalenia wymaganego poziomu „wyboistości” (*ruggedness*) wygenerowanego krajobrazu dopasowania, który jest uzależniony od wielkości parametru  $K$ . W sposób schematyczny pokazuje to rys. 1, zaczerpnięty z [10]. Przykładowo, dla  $K = 0$  powierzchnia krajobrazu jest gładka, z jednym punktem maksymalnym, który można osiągnąć z dowolnego innego punktu przez ciąg lokalnych adaptacji, polegających na zmianie wartości pojedynczego elementu<sup>1</sup> (rys. 1a). Wyższa wartość  $K$  oznacza większą nieregularność krajobrazu – dla  $K = N-1$  krajobraz jest całkowicie losowy, a zmiana wartości tylko jednego elementu może w sposób znaczący wpłynąć na dopasowanie (rys. 1b).

<sup>1</sup> Przez „punkty krajobrazu” rozumie się tutaj agenta o określonej strukturze wewnętrznej, o którym mowa w definicji formalnej modelu.



Rys. 1. Rodzaje krajobrazów dopasowania [10]  
 Fig. 1. Different kinds of fitness landscapes [10]

Rozważmy przykłady zamieszczone w tabeli 1. Zmiana wartości pierwszego elementu agenta z przykładu 1 (tzn. zamiana 1 na 0) wywołał pozytywny wpływ na jego dopasowanie (0,6 zamiast 0,3), nie oddziałując na wartość dopasowania, wnoszoną przez drugi element (wynoszącą 0,4). Ta sama zmiana w przypadku agenta z przykładu 2 spowoduje zmniejszenie jego stopnia dopasowania. Wartość dopasowania, wnoszona przez pierwszy element, wzrosła z 0,6 do 0,7, ale jednocześnie (na skutek połączenia między elementami) zmniejszyła się wartość dopasowania drugiego elementu (mimo że jego wartość nie uległa zmianie) – z 0,5 na 0,3.

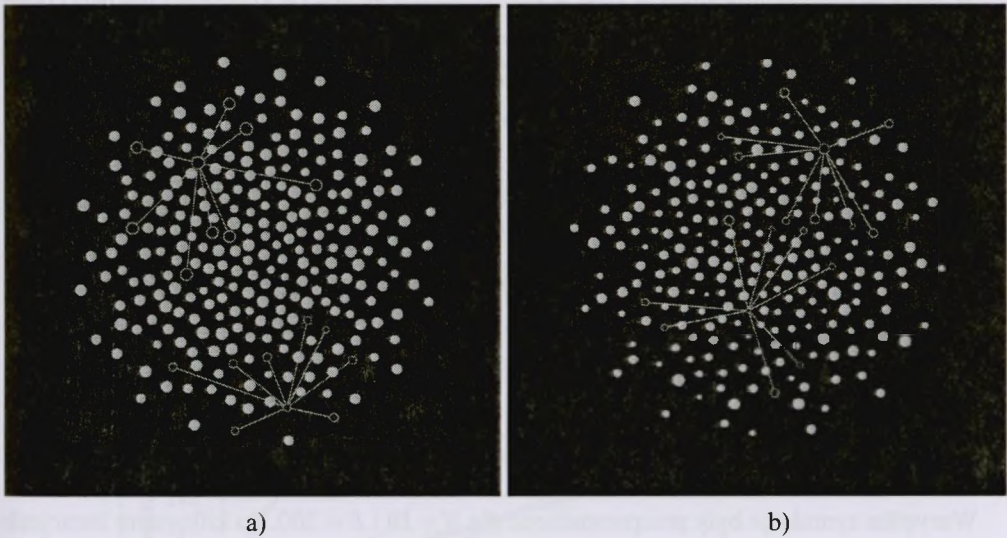
### 3. Model symulacyjny

Model zaimplementowano w środowisku programistycznym NetLogo [18]. Sama symulacja składa się z dwóch etapów. W pierwszym generowany jest krajobraz dopasowania, składający się z punktów w liczbie  $2^N$ , które w dalszej części artykułu określone są jako „miejsca”. Miejsca reprezentują wszystkie możliwe typy agentów. W następnym etapie w wygenerowanym krajobrazie w sposób losowy rozmieszczeni zostają agenci, którzy w kolejnych iteracjach, przez zmianę swojego miejsca (a tym samym zmianę swojego „typu”), starają się uzyskać jak najwyższą użyteczność.

#### 3.1. Krajobraz dopasowania

Każde miejsce  $X$  połączone jest z  $N$  innymi miejscami, różniącymi się od  $X$  wartością na jednej pozycji; przykładowo sąsiadami są miejsca (1101) i (1001). Miejsca stanowią wierzchołki grafu nieskierowanego i zostały rozmieszczone przy wykorzystaniu algorytmu Fruchtermana-Reingolda [5], zaimplementowanego w NetLogo jako funkcja *layout-spring*. Każde

miejsce ma określony stopień dopasowania, wyliczany zgodnie ze wzorem (1). Na rys. 2 przedstawiono przykłady krajobrazów dopasowania, wygenerowanych w modelu symulacyjnym dla  $N = 8$ . Koła i okręgi reprezentują tutaj miejsca, a ich wielkość odpowiada wielkości dopasowania. Większość połączeń między miejscami została ukryta dla lepszej przejrzystości rysunków. Rysunek 2a przedstawia krajobraz dla  $K = 0$ . Dwa miejsca oraz miejsca sąsiadujące z nimi w grafie zostały wyróżnione. Łatwo zauważyć, że różnice w wielkości pomiędzy połączonymi miejscami są niewielkie. Inaczej wygląda to w krajobrazie przedstawionym na rysunku 2b, wygenerowanym dla  $K = 7$ . Tutaj również wyróżniono dwa miejsca. Tym razem można dostrzec wyraźne różnice wielkości między sąsiadami.



Rys. 2. Przykładowe krajobrazy dopasowania, wygenerowane w modelu ( $N = 8$ )  
Fig. 2. Examples of fitness landscapes generated in the model ( $N = 8$ )

### 3.2. Adaptacja agentów

Po utworzeniu krajobrazu dopasowania w modelu w losowych miejscach zostaje rozmieszczonych  $F$  agentów. Miejsce zajmowane przez agenta określa jego strukturę wewnętrzną (kombinację wartości elementów) oraz dopasowanie. Zysk uzyskiwany z zajmowania określonego miejsca w dalszej części nazywany użytecznością. Zależy on od dopasowania tego miejsca, ale jest modyfikowany przez poziom konkurencyjności. Poziom konkurencyjności  $c_i$  zdefiniowany jest jako liczba agentów z tą samą wartością w  $i$ -tym elemencie struktury wewnętrznej. Przykładowo, agenci  $A = (1,0,1)$  oraz  $B = (1,0,0)$  są postrzegani jako konku-

renci na dwóch pierwszych pozycjach. W ten sposób agenci zajmujący to samo miejsce są uważani za bezpośrednich konkurentów.

Użyteczność uzyskiwaną przez agenta oblicza się wg następującego wzoru:

$$U = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{F - c_i + 1}{F} w_i, \quad (2)$$

gdzie:  $w_i$  to wielkość dopasowania wnoszona przez  $i$ -ty element,  $c_i$  to poziom konkurencyjności w  $i$ -tym elemencie,  $F$  to liczba wszystkich agentów. W ten sposób im większa liczba agentów zajmuje miejsca, które na  $i$ -tej pozycji struktury wewnętrznej mają tę samą wartość, tym mniejsza jest użyteczność wnoszona przez element na tej pozycji.

W modelu zaprezentowanym w [16] w każdej iteracji agenci (w kolejności losowej) obliczali swoją aktualną użyteczność oraz tzw. użyteczność potencjalną, stanowiącą maksymalną wartość użyteczności wśród wszystkich sąsiadujących miejsc. Jeśli potencjalna użyteczność była wyższa od aktualnej, agent zmieniał zajmowane miejsce na lepsze<sup>2</sup>.

W tej wersji modelu agenci w swoich kalkulacjach uwzględniają jeszcze dodatkowy parametr – *koszt zmiany*. Parametr ten reprezentuje koszt związany ze zmianą struktury wewnętrznej agenta (a więc zmianą zajmowanego przez niego miejsca). Agenci przemieszczali się na nowe miejsce tylko w przypadku, gdy różnica między użytecznością potencjalną a aktualną była wyższa niż wartość kosztu zmiany.

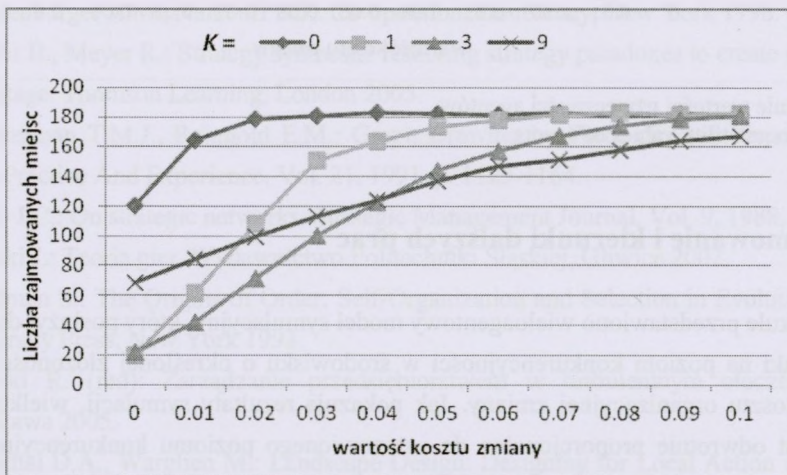
#### 4. Wyniki symulacji

Wszystkie symulacje były przeprowadzone dla  $N = 10$  i  $F = 200$ . Po kilkunastu iteracjach ruch agentów zanikał, a liczba zajmowanych przez nich miejsc wyznaczała poziom konkurencyjności (im mniej zajmowanych miejsc, tym wyższa konkurencyjność). Celem modelu było sprawdzenie, jaki wpływ na konkurencyjność wywiera wielkość kosztu zmiany organizacyjnej w zależności od złożoności otoczenia. W związku z tym głównym parametrem, zmienianym w poszczególnych wariantach, była wielkość kosztu zmiany. Parametr ten obejmował wartości z przedziału od 0,01 do 0,1 (z interwałem równym 0,01). Symulacje przeprowadzono dla  $K \in \{0, 1, 3, 9\}$  (jak pokazują wyniki z [16], zależność między poziomem konkurencyjności a parametrem  $K$  w modelu ma charakter nieliniowy – dla skrajnych wartości  $K$  liczba zajmowanych przez agentów miejsc jest największa, najwyższa konkurencyjność

<sup>2</sup> W [16] testowano również dwa warianty obliczania użyteczności z wykorzystaniem wiedzy na temat poziomu konkurencyjności oraz bez brania go pod uwagę. Ponieważ różnice w rezultatach były niewielkie, w niniejszym artykule zdecydowano się tylko na pierwszy z tych wariantów.

występuje natomiast dla umiarkowanych wartości  $K$  – w związku z tym arbitralnie wybrano kilka wartości  $K$ , tak aby dało się zaobserwować ogólną tendencję).

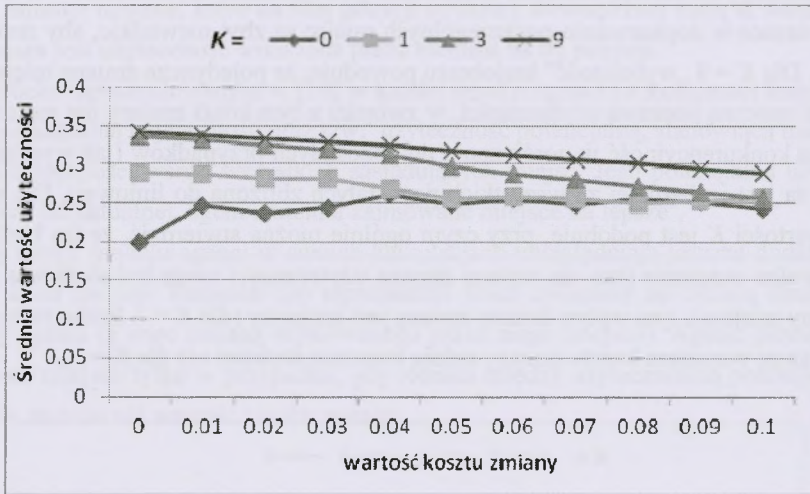
Każdy wariant symulacji powtórzono 30 razy, uśrednione wyniki prezentuje rys. 3. Jak widać, koszt zmiany jest odwrotnie proporcjonalny do poziomu konkurencyjności (wyższa wartość kosztu zmiany wiąże się z wyższą liczbą zajmowanych miejsc po zakończeniu symulacji, a tym samym – z niższym poziomem konkurencyjności). Zależność ta jest jednak różna dla różnych wartości  $K$ . I tak, dla  $K = 0$  wzrost kosztu zmiany bardzo szybko powoduje, że agenci przestają poszukiwać dalszych możliwości powiększania użyteczności – w takim środowisku różnice w dopasowaniu poszczególnych miejsc są zbyt niewielkie, aby zmiana była opłacalna. Dla  $K = 9$  „wyboistość” krajobrazu powoduje, że pojedyncza zmiana miejsca może skutkować znaczną poprawą użyteczności, w związku z tym koszt zmiany nie ma aż takiego wpływu na konkurencyjność w porównaniu do pozostałych przypadków (jak wynika z rys. 3 zależność ta jest najbardziej ze wszystkich pozostałych zbliżona do liniowej). Dla umiarkowanych wartości  $K$  jest podobnie, przy czym ogólnie można stwierdzić, że im bardziej nieprzewidywalne otoczenie (tzn. im wyższa zmiana użyteczności może być skutkiem pojedynczej zmiany miejsca), tym wpływ kosztu zmiany jest mniejszy (dla  $K = 1$  liczba zajmowanych miejsc wraz ze wzrostem kosztu zmiany rośnie znacznie szybciej niż dla  $K = 3$ ).



Rys. 3. Średnia liczba zajmowanych miejsc dla różnych wartości  $K$  i kosztu zmiany  
 Fig. 3. Average number of occupied places for different values of  $K$  and the cost of change

Rysunek 4 prezentuje średnie wartości użyteczności, uzyskane przez agentów w poszczególnych wariantach symulacji. Dla  $K > 0$  wzrost kosztu zmiany powoduje zmniejszenie średniej użyteczności – agenci nie dokonują korzystnych dla nich zmian ze względu na związany

z tym koszt. Jedynie dla  $K = 0$  zależność ta nie jest jednoznaczna. Jak wynika z rezultatów<sup>3</sup>, w tym wypadku ustanowienie kosztu zmiany (tzn. jego wartość wyższa niż 0) skutkuje wzrostem średniej użyteczności, uzyskiwanej przez agentów. Wydaje się, że dążąc do maksymalizacji użyteczności, agenci działali na niekorzyść całej populacji. Koszt zmiany sprawia, że indywidualnie agenci nie podejmują wszystkich działań prowadzących do wzrostu ich użyteczności, jednocześnie jednak nie powodują w ten sposób obniżenia użyteczności reszty agentów, co skutkuje wzrostem średniego poziomu użyteczności w całej populacji<sup>4</sup>.



Rys. 4. Średnie wartości użyteczności agentów

Fig. 4. Average utility values of agents

## 5. Podsumowanie i kierunki dalszych prac

W artykule przedstawiono wieloagentowy model symulacyjny, który posłużył do zbadania wpływu, jaki na poziom konkurencyjności w środowisku o określonej złożoności wywiera wielkość kosztu organizacyjnej zmiany. Jak pokazują rezultaty symulacji, wielkość kosztu zmiany jest odwrotnie proporcjonalna do ustanowionego poziomu konkurencyjności, przy czym zależność ta nie jest dokładnie taka sama dla różnych poziomów złożoności środowiska. Koszt ten wpływa również niekorzystnie na średni poziom użyteczności agentów, z jednym wyjątkiem – w środowisku modelowanym przez gładki krajobraz dopasowania ( $K = 0$ )

<sup>3</sup> Aby upewnić się, że uzyskane wyniki nie są jedynie losową nieregularnością, dodatkowo wykonano 100 symulacji dla  $K = 0$  i wartości kosztu zmiany 0 i 0,01 (po 50 symulacji na każdy wariant). Uzyskane średnie wartości użyteczności (odpowiednio 0,202 oraz 0,242) potwierdzają wcześniejsze rezultaty.

<sup>4</sup> Dodatkową wskazówkę mogłaby tutaj stanowić miara zróżnicowania użyteczności uzyskiwanej przez agentów w poszczególnych wariantach. Miara ta zostanie wprowadzona w kolejnych rozwinięciach modelu.



wprowadzenie kosztu zmiany powoduje podniesienie średniej użyteczności w całej populacji. Rezultat ten jest dość zaskakujący i skłania do podjęcia dalszych, bardziej szczegółowych badań w tym temacie.

Oprócz tego zaprezentowany model może z powodzeniem posłużyć do dalszych badań nad konkurencyjnością i współdziałaniem przedsiębiorstw. Jedną z narzucających się modyfikacji jest zwiększenie liczby wartości, które może przyjąć element struktury wewnętrznej agenta. Uczyni to relacje pomiędzy agentami bardziej złożonymi i wprowadzi możliwość przetestowania wpływu rzeczywistej komplementarności między nimi. Kolejna modyfikacja powinna dotyczyć procesów wytworzenia i zagarniania wartości – wykorzystanie mechanizmów teoriogrowych [7] wydaje się być tutaj naturalnym wyborem.

## Bibliografia

1. Anderson P.: Complexity Theory and Organization Science, *Organization Science*, Vol. 10, No. 3, 1999, p. 216-232.
2. Bendkowski J., Bendkowski J.: Praktyczne zarządzanie organizacjami. Kompetencje menedżerskie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
3. Brandenburger A.M., Nalebuff B.J.: *Co-opetition*. Doubleday, New York 1998.
4. De Wit B., Meyer R.: *Strategy synthesis: resolving strategy paradoxes to create competitive advantage*. Thomson Learning, London 2005.
5. Fruchterman T.M.J., Reingold E.M.: *Graph Drawing by Force-directed Placement*. *Software-Practice And Experience*, Vol. 21, 1991, p. 1129-1164.
6. Jarillo J.C.: On strategic networks. *Strategic Management Journal*, Vol. 9, 1988, p. 31-41.
7. Kałuski J.: *Teoria gier*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
8. Kauffman S.: *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press, New York 1993.
9. Krupski R. (red): *Zarządzanie przedsiębiorstwem w turbulentnym otoczeniu*. PWE, Warszawa 2005.
10. Levinthal D.A., Warglien M.: Landscape Design: Designing for Local Action in Complex Worlds. *Organization Science*, Vol. 10, No. 3, 1999, p. 342-357.
11. Luo Y.: A coepetition perspective of global competition. *Journal of World Business*, Vol. 42, 2007, p. 129-144.
12. Macal C., North M.: *Managing Business Complexity. Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*, Oxford University Press, New York 2007.
13. Obłój K.: *Tworzywo skutecznych strategii*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002.

14. Owczarek T.: Symulacja agentowa jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji biznesowych, [w:] Porębska-Miąc T., Sroka H. (red.): Systemy Wspomagania Organizacji SWO 2009. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2009, s. 195-202.
15. Owczarek T.: Wieloagentowa symulacja rynku pracy z uwzględnieniem sieci osobistych powiązań między pracownikami. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie, nr 49, Gliwice 2009, s. 235-254.
16. Owczarek T.: Collaboration and Competition in Complex Environment – an Agent-based Approach. Proceedings of the 6th IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Praga 2011, p. 594-597.
17. Sanchez S., Lucas T.: Exploring the world of agent-based simulations: simple models, complex analyses. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, San Diego 2002, p. 116-126.
18. Wilensky U.: NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999.

## Abstract

The article presents agent-based approach to research on cost of organizational change and its impact on competition level in complex environment. The multi-agent simulation model used here is based on the model proposed in [16] which utilizes Kauffman's *NK* model of fitness landscape. The main novelty of this approach is introduction of the new parameter representing the cost of organizational change.

Fig. 3 and 4 show the results of conducted simulation. As one can see, in general the cost of change is the reason for lesser competition level, it also lowers the average utility of agents.