

## AGENCI W MODELOWANIU AGENTOWYM (ABM)

### AGENTS IN AGENT-BASED MODELING (ABM)

**Piotr Dzieszko, Katarzyna Bartkowiak, Katarzyna Gięda-Pinas**

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,  
Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Zakład Geoekologii

**Słowa kluczowe: modelowanie agentowe (ABM), systemy informacji geograficznej (GIS), geomodelowanie**

Keywords: agent-based modeling (ABM), geographical information system (GIS), geomodeling

### Wstęp

Modelowanie, obok przedstawiania, analizowania i wyjaśniania rozkładu przestrzennego zjawisk geograficznych, stanowi jedno z podstawowych zadań systemów informacji geograficznej (ang. *geographical information systems*, GIS). To wieloetapowy proces symulacji zjawisk i procesów, zachodzących w rzeczywistości. Modelowanie systemów dynamicznych, obejmujących zmiany w czasie i przestrzeni, jest obecnie szybko rozwijającą się dziedziną (Longley i in., 2011). W naukach geograficznych, dzięki możliwości integracji z systemami informacji geograficznej, coraz silniej zaznacza obecność modelowanie agentowe (ang. *agent-based modelling*, ABM) (O'Sullivan, 2008).

Modele agentowe są cyfrową reprezentacją systemów złożonych z różnorodnych jednostek zlokalizowanych w jednym otoczeniu. Jednostki decyzyjne – agenci – wchodzi w interakcje ze sobą i otoczeniem oraz dążą do osiągnięcia postawionych celów (Ligmann-Zielińska, 2010). Elementami budującymi każdy model agentowy są zatem: agenci, powiązania pomiędzy nimi i środowisko ich działania.

Celem artykułu jest przedstawienie szczegółowej charakterystyki agentów, jako podstawowego komponentu modelu agentowego, w kontekście integracji ABM ze środowiskiem GIS.

### Modelowanie agentowe (ABM)

Modelowanie agentowe to narzędzie pozwalające na analizę konsekwencji zachowań jednostek oraz grup reprezentowanych przez agentów (North i in., 2004). ABM pozwala zarówno na budowę modeli deterministycznych, jak i stochastycznych i polega na wydawaniu instrukcji wirtualnym agentom, którzy dzięki nim mogą wchodzić w interakcje ze sobą oraz

z otoczeniem. Na model agentowy składa się struktura systemu i procesy w nim zachodzące. Najważniejszymi składowymi modelu są agenci i środowisko ich działania, to od tych elementów w zasadniczej mierze zależą wyniki symulacji wykonanych za pomocą ABM. Środowisko agentów to zdefiniowany wirtualny świat, o dowolnie zdefiniowanych granicach. W przeciwieństwie do agentów, środowisko stanowi bierny element modelu – nie podejmuje decyzji i nie realizuje zasad decyzyjnych. Może jednak zmieniać się w czasie i w ten sposób wpływać na zachowania agentów.

Agenci mają postać programu komputerowego i są jednostkami potrafiącymi podjąć decyzje, jaką czynność wykonać, by osiągnąć założone cele (Ligmann-Zielińska, 2010). ABM pozwala na określenie zasad decyzyjnych agentów, zdefiniowanie uwarunkowań, w jakich funkcjonują oraz zrealizowanie tych zasad w dowolnej liczbie iteracji w celu przeanalizowania rezultatów działania systemu.

W tworzeniu modeli agentowych wykorzystuje się obiektowe języki programowania (np. Java i C++), gotowe zestawy narzędzi do programowania (np. Repast, SWARM, MASON) lub specjalistyczne platformy do budowy modeli (np. NetLogo, AgentSheets).

Modele agentowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, będąc polem eksperymentalnym o dużym stopniu zaawansowania. Przez integrację z systemami informacji geograficznej (decyzje agentów mają charakter przestrzenny) modele te zyskują na funkcjonalności.

## Agenci w ABM

### Definicja i rodzaje agentów

Definicje agentów różnią się w zależności od przeznaczenia i aplikacji konkretnego modelu. Agenci mogą mieć charakter ożywiony (np. rolnicy, mieszkańcy, właściciele ziemscy, terroryści, zwierzęta) oraz nieożywiony (np. firmy, samochody). Mogą także być w modelu pogrupowani w większe jednostki oraz mogą być mobilni.

Z punktu widzenia programowania obiektowego agenci są abstrakcyjnymi obiektami, którym przypisane są określone stany przez wybrane cechy (opisane za pomocą danych, w tym danych przestrzennych) oraz metody (reguły przetwarzania tych danych) pozwalające na podejmowanie decyzji. W toku symulacji agenci, jako instancje (utworzone obiekty) realizują funkcje i wykorzystują reguły decyzyjne w celu podjęcia przyszłych działań.

Agenci w modelu posiadają atrybuty, które pozwalają opisać ich aktualny stan, posiadają też sprecyzowane zasady decyzyjne, które pozwalają im podejmować decyzje w czasie i przestrzeni oraz czynności, które następują po podjętej decyzji. Atrybuty i zachowania agentów mogą być zmieniane w ramach własności predefiniowanych w klasach abstrakcyjnych na początku symulacji. Wywoływane tym następstwa mogą być natomiast szeroko analizowane. Ta cecha modeli agentowych sprawia, że są pomocne przy analizie problemów o przeróżnych skalach przestrzennych, czasowych na różnych poziomach organizacji (Brown, 2006). W modelach matematycznych najczęściej wszystkie jednostki są identyczne i nie różnią się od siebie. Założeniem modelowania agentowego jest możliwość różnicowania agentów oraz możliwość zastosowania pewnej dozy losowości w ich zachowaniach, nawet jeśli mają podobną lub identyczną budowę. Agenci mogą mieć identyczne atrybuty, ale skrajnie różne zasady decyzyjne, co pozwala wprowadzić do modelu bardzo istotny w naukach przyrodniczych element losowości.

Ze względu na budowę, agentów dzielimy na słabych i silnych: słabi agenci mają uproszczoną strukturę wewnętrzną i proste zasady decyzyjne, silni agenci będą wykorzystywać sztuczną inteligencję, potrafią się uczyć, rozwiązywać problemy i planować. Najczęściej agenci mają kilka stałych cech, które nie zmieniają się w zależności od zastosowania modelu (tabela).

**Tabela.** Cechy agentów w przestrzennych modelach agentowych (Franklin, Graesser, 1996; Epstein, 1999; Parker i in., 2003, Macal, North, 2005).

Cecha	Charakterystyka
Autonomia	agenci są jednostkami autonomicznymi, które potrafią przetwarzać informacje i wymieniać je pomiędzy sobą
Różnorodność	agenci różnią się od siebie atrybutami, np. agenci reprezentujący ludzi mogą mieć atrybuty takie, jak wiek, płeć, zawód itd.; mogą istnieć grupy agentów, ale są to połączenia podobnych jednostek, a nie zbiór identycznych bytów
Aktywność	agenci są aktywni, wywierają wpływ na przebieg symulacji
Nastawienie na osiągnięcie celu	agenci mogą mieć zadany cel do osiągnięcia, do którego dążą w trakcie symulacji
Reaktywność	agenci potrafią odbierać bodźce z otoczenia i wykorzystywać je w procesie decyzyjnym
Ograniczona racjonalność	agenci mogą wykorzystywać cały lub częściowy dostępny zasób wiedzy w procesie decyzyjnym, mogą być zaprojektowani w taki sposób, że ich racjonalność zostanie ograniczona w celu zwiększenia wiarygodności procesu decyzyjnego
Interaktywność	agenci mogą kierować zapytania do innych agentów oraz do otoczenia
Mobilność	agenci potrafią poruszać się w przestrzeni
Uczenie się	agenci posiadają możliwość uczenia się i zdobywania doświadczenia

Abdou i in. (2012) wyróżniają cztery podstawowe własności w ABM, które skupiają wyżej wymienione cechy. Są to:

- umiejętność postrzegania (ang. *perception*), czyli odczytywanie cech środowiska, w którym dany agent się znajduje oraz dostrzegania sąsiedztwa innych agentów,
- wykonywanie działań (ang. *performance*), czyli umiejętności poruszania się, komunikowania z innymi agentami oraz interakcja ze środowiskiem,
- pamięć (ang. *memory*) obejmująca zapamiętywanie poprzednich stanów, w których znalazł się dany agent i działania, które agent wykonał,
- prowadzona polityka (ang. *policy*), czyli ustalone strategie postępowania, podejmowania decyzji i kolejność ich wykonywania w modelu.

Pomimo, że agenci w ABM mogą reprezentować zarówno ludzi, jak i obiekty nieożywione, ABM kładzie duży nacisk na modelowanie zachowań ludzkich. Jest to duże wyzwanie, ponieważ niezależnie czy agentami są pojedyncze osoby, grupy osób, czy całe społeczności, różnicuje je cały zestaw cech, począwszy od charakteru poprzez wykształcenie, wiek aż po poziom emocjonalności, który również wpływa na zachowania ludzkie. Decyzje ludzkie nie są podejmowane przypadkowo. To, co kieruje daną jednostką nie zawsze można w prosty i jednolity sposób zdefiniować (Kennedy, 2012).

Modelowanie zachowań społeczności lokalnych, czy społeczeństw jest często oparte o dane statystyczne, czyli na podstawie tego, co zostało zrobione w przeszłości, opracowuje się potencjalne scenariusze dalszych zmian. Natomiast jednostki i mniejsze grupy wymagają bardziej wnikliwych analiz poprzedzających budowę modelu, np. badań ankietowych. Ob-

serwacje zachowań ludzkich pojawiły się wraz z powstaniem pierwszych społeczeństw, jednak naukowe podejście związane jest z rozwojem psychologii ok. 150 lat temu.

Uważa się, że ludzie podejmują decyzje na podstawie analizy środowiska (szeroko rozumianego otoczenia), obecnego statusu (stanu, w którym się znajdują) oraz poprzednich zdarzeń. Decyzje podejmowane są racjonalnie, zgodnie z założeniem, że działa się w celu maksymalnego zwiększenia zysków i zmniejszenia strat (Coleman, 1990). Należy jednak pamiętać, że ludzie nie zawsze zachowują się racjonalnie. Są poddani emocjom, działają intuicyjnie lub nieświadomie. Wpływ emocji na działania ludzkie, według różnych danych, może mieć mniejsze lub większe znaczenie (Loewenstein, Lerner, 2003). Należy je jednak brać pod uwagę projektując model agentowy, w którym o zachodzących procesach decydują agenci-ludzie.

Modelowanie agentowe wywodzi się z automatów komórkowych, w których wszystkie jednostki były identyczne. To natomiast sprawiało, że warunki początkowe oraz warunki brzegowe miały duży wpływ na przebieg symulacji (Wolfram, 1984). W ABM ich wpływ na przebieg jest mniejszy, ale nadal bardzo istotny.

### Zasady decyzyjne agentów

Każdy z agentów w modelu agentowym, niezależnie czy reprezentuje byt ożywiony, czy nieożywiony, posiada zbiór zasad decyzyjnych, które określają jego zachowania w czasie symulacji. Zasady decyzyjne najczęściej tworzone są w oparciu o literaturę, wiedzę ekspercką lub analizę danych i stanowią podstawę podejmowanych czynności przez agentów. Jeden zestaw zasad decyzyjnych może być przypisany wszystkim agentom lub każdy agent z osobna może mieć swój zbiór zasad decyzyjnych. Często zadaniem agentów jest osiągnięcie pożądanego efektów, ale istnieją też modele, których zadaniem jest zróżnicowanie podejścia do osiągania celów przez agentów podobnego typu (Ligmann-Zielińska, 2009).

Każdy agent może być niezależną, samodzielną jednostką, która wypełnia zadane instrukcje w zależności od występujących cech środowiska, w którym funkcjonuje. Agenci dzielą się pod tym względem na aktywne i bierny. Aktywni agenci zmierzają do realizacji zdefiniowanych celów, bierni z kolei oddziałują ze środowiskiem lub innymi agentami.

Atrybuty opisujące agentów mogą mieć charakter statyczny – wtedy pozostają niezmiennie, lub dynamiczny – wtedy ulegają zmianie w czasie symulacji. Działania agentów mogą być zarówno synchroniczne, jak i asynchroniczne. Zachowania agentów często są zdefiniowane jako zwykłe dążenie do celu lub maksymalizacji korzyści działania. Mogą też być zaimplementowaną specjalistyczną wiedzą pozyskaną z literatury. Topologia w ABM pozwala na określenie, którzy agenci oddziałują ze sobą, wymieniając informacje.

Wczesne modele agentowe opierały zasady decyzyjne agentów najczęściej na bazie operatora „co – jeżeli”. Jednak z biegiem czasu zaczęły one przybierać coraz bardziej wyrafinowane formy. Obecne modele agentowe często mają w kodzie źródłowym skomplikowaną strukturę zachowań i czynności agentów skonstruowaną w taki sposób, by jak najlepiej naśladować zachowania ludzkie (Malleon i in., 2010; Kennedy, 2012).

Budując model agentowy należy odpowiednio zdefiniować agentów, uwzględniając sposób, w jaki będą reprezentowani w modelu, atrybuty poszczególnych agentów, ich zasady decyzyjne, czy będą mobilni, czy będą oddziaływać na siebie i otoczenie, jakie czynności będą wykonywać, czy będą czerpać z doświadczenia, jakie będzie źródło wiedzy agentów (Johnston i in., 2012).

## Integracja GIS i modelowania agentowego

Zarówno agenci, jak i podejmowane przez nich decyzje, mają najczęściej odniesienie przestrzenne, stąd powiązanie ABM i systemów informacji geograficznej wydaje się być niejako naturalną konsekwencją rozwoju metodycznego i metodologicznego obu technik.

Integrując GIS i ABM zyskujemy obiektowe podejście do modelowania, wykorzystywane w ABM oraz modelowanie przestrzenne wykorzystywane w GIS. ABM nie ma wystarczających narzędzi do wizualizacji, analizy i przechowywania danych przestrzennych. Z kolei jednym z najważniejszych zarzutów względem GIS, w kontekście modelowania systemów przyrodniczych, jest brak wystarczających narzędzi do przeprowadzenia analiz zmienności w czasie (Goodchild, 2005; Langran, 1992; Peuquet, 2005).

Wpływ interakcji pomiędzy pojedynczymi agentami (ludźmi, miastami lub bytami bardziej abstrakcyjnymi) lub pomiędzy pojedynczymi agentami a otoczeniem, może być rozważany w różnych skalach czasowych i przestrzennych. Dotychczasowe podejścia do modelowania złożoności systemów geograficznych koncentrowały się na reprezentowaniu tych systemów, jako statycznych skupisk populacji, racjonalnych zachowań i przepływów informacji (Batty, 2012). Takie traktowanie sprawia, że w modelu wszystkie jednostki jednego typu mają identyczne właściwości i charakterystyki, podczas gdy ABM pozwala je różnicować zarówno na poziomie atrybutów jednostek, jak i ich zasad decyzyjnych. W niektórych modelach agentowych relacje przestrzenne są integralnym i podstawowym składnikiem systemu, zwłaszcza jeśli:

- jedno lub więcej zachowań agentów odnosi się do przemieszczania się,
- agenci podejmują decyzje w przestrzeni,
- agenci mogą zmieniać rozmieszczenie przestrzenne obiektów w krajobrazie,
- decyzje agentów mogą zmieniać się w zależności od ich położenia w przestrzeni.

Do określenia relacji przestrzennych agentów można wykorzystać techniki analiz przestrzennych GIS. Warstwa GIS, będąca warstwą wynikową analizy przestrzennej, może być również warstwą wejściową dla agentów w procesach decyzyjnych.

## Podsumowanie

Modelowanie agentowe umożliwia tworzenie dynamicznych modeli, symulujących procesy zachodzące w środowisku geograficznym, w których agenci wchodzi w interakcje ze sobą i otoczeniem. Agenci, wyposażeni w wiele atrybutów i zasad decyzyjnych, mogą różnić się od siebie. Cechy te mogą zmieniać się w trakcie modelowania, co wpływa na nieprzewidywalność reakcji agentów. Środowisko działania agentów również może wpływać na ich zachowania. Modelowanie agentowe umożliwia zbadanie niezliczonej liczby scenariuszy funkcjonowania systemów, pozwalając na ocenę wpływu decyzji agentów na rozwój systemu, w którym egzystują. ABM kładzie duży nacisk na modelowanie zachowań ludzkich.

ABM stanowi dynamicznie rozwijającą się metodę modelowania, o szerokim spektrum zastosowań w różnych dziedzinach nauki i życia codziennego. Dzięki modelom o tak złożonej strukturze, ABM stanowi niezwykle wartościowe narzędzie przydatne przy analizie zagadnień o zróżnicowanych skalach przestrzennych, czasowych i odmiennych poziomach organizacji. Rozwijająca się stale funkcjonalność łączenia ABM z GIS dostarcza złożone i nowoczesne narzędzia do geomodelowania.

### Literatura

- Abdou M., Hamill L., Gilbert N., 2012: Designing and building an Agent-Based Model. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, Dordrecht: 141-165.
- Batty M., 2012: A Generic Framework for Computational Spatial Modeling. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, Dordrecht: 19-50.
- Brown D.G., 2006: Agent-Based Models. [In:] Geist H. (ed.), *The Earth's Changing Land: An Encyclopedia of Land-Use and Land-Cover Change*, Greenwood Publishing Group, Westport: 7-13.
- Coleman J.S., 1990: *Foundations of Social Theory*, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Epstein J.M., 1999: Agent-Based Computational Models and Generative Social Science. *Complexity* 4 (5): 41-60.
- Franklin S., Graesser A., 1996: Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agent. [In:] *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer: 21-35.
- Goodchild M.F., 2005: GIS, Spatial Analysis, and Modelling Overview. [In:] Maguire D.J., Batty M., Goodchild M.F. (eds.), *GIS, Spatial Analysis and Modeling*, ESRI Press, Redlands: 1-18.
- Kennedy B., 2012: Modelling Human Behaviour in Agent-Based Models. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, Dordrecht: 167-179.
- Langran G., 1992: *Time in Geographic Information Systems*, Taylor and Francis, London.
- Ligmann-Zielinska A., 2009: The impact of risk-taking attitudes on a land use pattern: An agent-based model of residential development. *Journal of Land Use Science* 4(4): 215-232.
- Ligmann-Zielinska A., 2010: Agent-based models. [In:] *Encyclopedia of Geography*, SAGE Publications, [http://www.sage-ereference.com/geography/Article\\_n14.html](http://www.sage-ereference.com/geography/Article_n14.html)
- Loewenstein G., Lerner J.S., 2003: The role of affect in decision making. [In:] Davidson R.J., Scherer K.R., Goldsmith H.H. (eds.), *Handbook of Affective Sciences*, Oxford University Press: 619-642.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2011: *Geographical Information Systems and Science*, Wiley, New York.
- Macal C.M., North M.J., 2005: Tutorial on agent-based modelling and simulation. [In:] Euhl M.E., Steiger N.M., Armstrong F.B., Joines J.A. (eds.), *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, Orlando: 2-15.
- Malleson N.S., Heppenstall A.J., See, L.M., 2010: Simulating Burglary with an Agent-Based Model, *Computers. Environment and Urban Systems* 34 (3): 236-250.
- MASON, 2012: Multi Agent Simulation of Neighbourhood. Dostęp: 20 marca 2013 r. <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>
- O'Sullivan D., 2008: Geographical Information Science: Agent-Based Models. *Progress in Human Geography* 32(4): 541-550.
- Parker D.C., 2005: Integration of geographic information systems and agent-based models of land use: Challenges and prospects. [In:] Maguire D.J., Batty M., Goodchild M.F. (eds.), *GIS, Spatial Analysis and Modelling*. ESRI Press, Redlands: 403-422.
- Peuquet D.J., 2005: Time in GIS and Geographical Databases. [In:] Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, Wiley, Hoboken: 91-103.
- Wolfram S., 1984: Cellular automata as models of complexity. *Nature* 311, no. 5985: 414-419.

### Abstract

*Agent-based modeling is a dynamic, fast developing modeling method. It has a wide range of applications in different fields of science and everyday life. Currently, progressive integration of ABM and GIS brings very advanced and complex tools for geomodeling.*

*Agent-based models are a digital representation of the systems such as ecosystems, societies and the economy, composed of elements and objects arranged in a common environment (operating surrounding). The uniqueness of agent-based modeling is that it allows to define the rules of decision-making units called agents, determining the conditions under which they operate and implementation of these principles in any number of iterations in order to analyze the results of the system.*

*Agents in the model can be highly varied. Endowed with the attributes that allow to describe their current status. They have also defined decision rules that allow them to make decisions in time and space and they have activities which are undertaken by agents after decision making process.*

*A multitude of applications of agent-based models causes that agents have very different characteristics, and this makes it difficult to assign them to universal and common features. However, agents frequently have several characteristics that do not change depending on the application of the model. These are autonomy, diversity, activity, goal, interactivity, limited rationality, mobility, and ability to learn.*

*The goal of this paper is to present a detailed characterization of agents as the primary component of agent-based model in the context of the ABM integration with GIS environment.*

mgr Piotr Dzieszko  
dzieszko@amu.edu.pl

mgr Katarzyna Bartkowiak  
katbar@amu.edu.pl

mgr inż. Katarzyna Gielda-Pinas  
kasia\_gp@amu.edu.pl