

**MODELOWANIE AGENTOWE –
NOWOCZESNA KONCEPCJA MODELOWANIA W GIS**
**AGENT-BASED MODELLING –
MODERN CONCEPT OF GIS MODELLING**

Piotr Dzieszko, Katarzyna Bartkowiak, Katarzyna Gielda-Pinas

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

Słowa kluczowe: modelowanie agentowe, systemy informacji geograficznej, geomodelowanie
Keywords: agent-based modelling, geographical information systems, geomodelling

Wstęp

Szczególne znaczenie we współczesnym rozwoju geoinformacji odgrywa geomodelowanie (Zwoliński, 2009), wykorzystywane do symulacji wielu zjawisk naturalnych. Kluczowe w geomodelowaniu jest wieloetapowe przetwarzanie danych przestrzennych, które jest ściśle związane z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej (Longley i in., 2005). Modele pozwalają na zrozumienie istoty funkcjonowania badanego systemu, dlatego są tak istotne w wielu dziedzinach nauki. Modelowanie agentowe (ang. *Agent-based modelling* – ABM) to jedna z najnowszych technik geomodelowania, która znajduje coraz więcej zastosowań w kooperacji z systemami informacji geograficznej (ang. *Geographical Information Systems* – GIS). Dzieje się tak, gdyż elementy i obiekty w modelowanych systemach zawsze działają i podejmują decyzje w przestrzeni.

Celem pracy jest wskazanie zalet i ograniczeń modelowania agentowego, ze szczególnym uwzględnieniem połączenia go z GIS. Ukazanie pierwszych kroków i niezbędnych informacji do budowy modelu agentowego, zwłaszcza dla analityków systemów informacji geograficznej.

Modele agentowe są cyfrową reprezentacją systemów złożonych z elementów i obiektów rozmieszczonych we wspólnym otoczeniu. Agenci wchodzi w interakcje ze sobą i otoczeniem oraz dążą do osiągnięcia zamierzonych celów. Potrafią podjąć decyzje jaką czynność wykonać, by osiągnąć założone cele (Ligmann-Zielinska, 2010). Mają też zasady decyzyjne, które są motorem ich działania. Z punktu widzenia nauk geograficznych, w modelowaniu agentowym najistotniejsze jest zróżnicowane przestrzennie środowisko, które reprezentuje ekosystemy, społeczności i gospodarki (Ligmann-Zielinska, 2010).



Rys. 1. Obligatoryjne komponenty modelu agentowego

Modele agentowe są dynamicznymi modelami symulacyjnymi, w skład których wchodzi: struktura systemu, agenci wykonujący czynności i podejmujący decyzje oraz procesy zachodzące w systemie. Każdy model agentowy musi mieć przynajmniej trzy komponenty, jakimi są: agenci, powiązania między agentami i środowisko ich działania (rys. 1).

Kim są agenci?

Nie ma jednej definicji agentów w ABM. Można jednak określić pewne ich cechy wspólne, występujące w literaturze (Macal i North, 2005; Bonabeau, 2002). Modele agentowe są stosowane w bardzo wielu, często skrajnie różnych dziedzinach. Efektem tego jest posiadanie przez agentów różnych charakterystyk, w zależności od przeznaczenia modelu. Agenci przede wszystkim są obiektami, które posiadają:

- cechy wyrażone za pomocą danych (w tym danych przestrzennych),
- funkcje pozwalające podejmować działania na tych danych,
- funkcje określające, jakie czynności wykonać i w jakiej kolejności,
- funkcje pozwalające na wykorzystanie posiadanych danych do podjęcia decyzji w przyszłości.

Agenci mogą reprezentować elementy żywe oraz nieżywe. Mogą także być w modelu pogrupowani w większe jednostki oraz mogą być mobilni. Mogą także mieć uproszczoną strukturę, zwani są wówczas agentami słabymi lub być zaprojektowani w taki sposób, że w czasie symulacji będą zdobywać doświadczenie i uczyć się, wykorzystując sztuczną inteligencję. Wówczas będą w modelu zwani agentami silnymi.

Środowisko funkcjonowania agentów w modelach agentowych

Środowisko w ABM (ang. *environment*) jest to wirtualny świat, w którym funkcjonują agenci. Stanowi ono bierny element modelu. Może być reprezentacją środowiska przyrodniczego – przestrzeni geograficznej, wtedy model agentowy jest określany jako zależny od przestrzeni (ang. *spatially explicit*). Przestrzeń geograficzną opisuje się w modelach agentowych z użyciem cyfrowych danych przestrzennych.

Środowisko działania agentów to przestrzeń, w której agenci podejmują wszelkie akcje. W zależności od zdefiniowania środowiska działania, otoczenie agentów może być rozumia-

ne jako konkretna odległość od nich, sąsiedztwo komórek w warstwie rastrowej lub liczba węzłów zdefiniowanej sieci wektorowej.

Atrybuty i zachowania agentów mogą być dowolnie zmieniane, a wywoływane tym następstwa są następnie analizowane. Ta cecha modeli agentowych sprawia, że są pomocne przy analizie problemów o przeróżnych skalach przestrzennych, czasowych oraz na różnych poziomach organizacji (Brown, 2006). Model agentowy stanowi reprezentację wybranego systemu oraz wyjaśnia, w jaki sposób ten system funkcjonuje. Reprezentuje procesy, które zachodzą w środowisku geograficznym (Abdou i in., 2012; Macy, Willer, 2002). Dzięki temu pozwala na przeprowadzanie eksperymentów, które mogą być wykonywane wielokrotnie, przy użyciu różnych parametrów, bez żadnej szkody dla badanego systemu.

Działanie modeli agentowych

Przez indywidualne modelowanie zachowań agentów, ABM pozwala na ujęcie pełnego zróżnicowania elementów i obiektów, które występują w badanym systemie geograficznym. Tworzenie modelu agent po agencie, interakcja po interakcji pozwala na obserwowanie w czasie działania modelu samoorganizujących się struktur i zjawisk emergentnych, co jest wielką zaletą i głównym celem metody ABM. Rozwój systemu w modelu, przy takim podejściu, nie jest wynikiem jego zaprogramowania, ale działania i interakcji jego poszczególnych elementów.

By móc uruchomić model agentowy niezbędne jest środowisko obliczeniowe. Może nim być zbiór narzędzi do budowy modelu, platforma oprogramowania lub język programowania. Bez tego elementu model pozostanie na poziomie konceptualnym. Kolejny krok modelu najczęściej symuluje postęp czasu. Najważniejszą cechą każdego agenta w modelu jest zdolność do autonomicznego działania i samodzielnego wykonywania instrukcji, w zależności od napotkanych cech środowiska, w którym funkcjonuje. Agentów w modelu możemy podzielić na aktywnych i biernych. Pierwsi dążą w czasie symulacji do realizacji założonych celów, podczas gdy drudzy jedynie reagują na bodźce ze strony środowiska oraz innych agentów.

Agenci mają atrybuty statyczne i dynamiczne. Statyczne to atrybuty, które pozostają niezmiennie w czasie symulacji, podczas gdy dynamiczne mogą się zmieniać w czasie funkcjonowania modelu. Zachowania agentów mogą być: 1) prostym dążeniem do osiągnięcia celu lub maksymalizacji korzyści działania, 2) zaimplementowaną w modelu wiedzą ekspercką dotyczącą dziedziny, którą model wraz z agentami reprezentuje. Zasady określające, którzy agenci z którymi mogą wchodzić w interakcje określa się mianem topologii. Topologia pozwala na zdefiniowanie sąsiedztwa, w jakim agenci oddziałują oraz określa kto przekazuje komu informacje w systemie.

Tworzenie modeli agentowych

Przy tworzeniu modelu agentowego można zastosować zestaw narzędzi do programowania lub wykorzystać konkretną platformę oprogramowania przeznaczoną do budowy modeli. W ABM najczęściej stosuje się języki programowania Java oraz C++. Programowanie i pisanie kodu źródłowego „od zera” pozwala na pełną kontrolę procesu tworzenia modelu agentowego, jest jednak czasochłonne i wymaga od twórcy modelu wiedzy programistycz-

nej. Znaczna część czasu jest poświęcana na stworzenie interfejsu komunikacji z użytkownikiem. Z kolei dostępne zestawy narzędzi nie wymagają od użytkownika wielkiego doświadczenia w pisaniu kodu i zapewniają szablony rozwiązań, które łatwo można dostosować w swoim opracowaniu.

Obecnie dostępnych jest około 100 zestawów narzędzi do tworzenia modeli agentowych (Crooks, Castle, 2012), jednak zdecydowanie najpopularniejsze są cztery z nich: Repast, SWARM, MASON i GAMA. Wszystkie zestawy dostarczają użytkownikowi narzędzi ułatwiających tworzenie i analizowanie modeli. Mają one także ułatwiać łączenie ABM z GIS, aby środowisko w modelu było jak najwierniejszym odzwierciedleniem świata rzeczywistego (Crooks, Castle, 2012).

Narzędzia często pozwalają na skorzystanie z wbudowanych bibliotek i zdefiniowanych metod oraz funkcji (ang. *libraries and frameworks*), które można dostosować do potrzeb swojego modelu. Łatwo jest także połączyć ich funkcjonalność z bibliotekami systemów informacji geograficznej (np. OpenMap lub GeoTools). Skorzystanie z zestawów narzędzi ułatwia prace programistyczne i pozwala poświęcić więcej czasu na badania naukowe. Jednakże każdy zestaw narzędzi ma swoją specyfikę i twórca modelu musi poświęcić czas na zrozumienie istoty jego działania. Zdarza się także, że po zainwestowaniu czasu w poznanie zestawu narzędzi, jego funkcjonalność okazuje się niewystarczająca.

Budowa modelu agentowego wymaga dużego nakładu pracy, zwłaszcza na etapie jego planowania (Abdou i in., 2012). Konstruując model agentowy oparty o systemy informacji geograficznej należy zatem wziąć pod uwagę zagadnienia zestawione w tabeli 1.

Najbardziej podstawowe narzędzia do budowy modeli agentowych użytkownik znajdzie wykorzystując arkusz kalkulacyjny. Jednak możliwość prezentacji działań modelu, jak i zaimplementowania zasad decyzyjnych jest w tym przypadku bardzo ograniczona. Najczęściej używane obiektowe języki programowania, takie jak: Python, Java, C i C++ zapewniają wystarczającą użyteczność do budowy modeli agentowych. Obecnie, większość modeli agentowych, zwłaszcza używających dużej liczby agentów, tworzy się z wykorzystaniem narzędzi, zbiorów narzędzi i specjalnych środowisk programistycznych zaprojektowanych w celu ich tworzenia. Oferują one zarówno zaawansowane opcje edycji, jak i zwiększoną użyteczność, a także nierzadko zapewniają twórcy modelu wygodny interfejs graficzny, który oszczędza jego czas i upraszcza procedurę tworzenia modelu.

Możliwości i ograniczenia modelowania agentowego

Złożone systemy przyrodnicze i geograficzne często zawierają dynamiczne i nieliniowe powiązania pomiędzy składowymi systemów. Te powiązania nierzadko prowadzą do nieoczekiwanych skutków. Skutki te są trudne lub niemożliwe do zbadania *in vivo*. Dlatego środowisko obliczeniowe modelowania agentowego, które pozwala na wielokrotne symulacje i analizę czułości (ang. *sensitivity analysis*) zyskuje na znaczeniu w obecnych badaniach środowiskowych i geograficznych. Pozwala ono na zbadanie olbrzymiej liczby scenariuszy, co przyczynia się do lepszego zrozumienia badanych zjawisk zachodzących w systemach geograficznych.

Tabela 1. Zagadnienia istotne przy konstruowaniu modelu agentowego (Johnston i in., 2012)

Zagadnienie	Opis
Cel modelu	<ul style="list-style-type: none"> – Jaki jest problem badawczy, który model ma rozwiązać? – Jaką hipotezę badawczą mamy zamiar zbadać wykorzystując model? – Co jest celem modelowania? – Jaki etap tworzenia modelu będzie uznany za zadowalający efekt końcowy? – Jakie wymierne czynniki zostaną użyte do oceny jakości modelu?
Definicja agentów	<ul style="list-style-type: none"> – W jaki sposób agenci będą reprezentowani w modelu: punkty, poligony, warstwy rastrowe, sieci? – Czy agenci w modelu będą różnili się między sobą typem, własnościami? – Jaki obiekt lub zjawisko będą reprezentowane, jako pojedynczy agenci?
Definicja właściwości agentów	<ul style="list-style-type: none"> – Jakie pola w tabeli atrybutów, których stan będzie zmieniany w trakcie działania modelu, będą posiadali agenci? – Które z pól w tabeli atrybutów lub w modelu będą odpowiadały za interakcje między agentami?
Definicja działań podejmowanych przez agentów	<ul style="list-style-type: none"> – Jakie możliwe czynności będzie mógł podjąć każdy z agentów? – Czy poruszanie się agentów będzie zaimplementowaną akcją w modelu? – Czy akcje podejmowane przez agentów będą wpływały na środowisko? – Jeśli tak, to w jaki sposób?
Definicja podejmowania decyzji przez agentów	<ul style="list-style-type: none"> – Co może wpłynąć na podejmowanie decyzji przez agentów? – Czy podejmowane decyzje związane są z konkretnymi warunkami środowiska? – Czy agenci potrafią się uczyć?
Źródła informacji wykorzystywanych przez agentów w procesie decyzyjnym	<ul style="list-style-type: none"> – Warstwy wejściowe. – Warstwy tworzone w wyniku działania modelu. – Inne modele.
Określenie interwału czasowego każdego kolejnego kroku modelu	<p>Czas trwania każdego kroku w modelu może zależeć od:</p> <ul style="list-style-type: none"> – rodzaju modelowanych zjawisk, – sposobu ich uproszczenia, – zasad decyzyjnych agentów, – parametrów określających agentów, – rozdzielczości przestrzennej wykorzystanych danych.
Określenie czasu trwania symulacji	<p>Liczba iteracji zależy od:</p> <ul style="list-style-type: none"> – specyfiki modelowanych zjawisk, – ilości informacji posiadanych na temat modelowanych zjawisk, – czasu trwania każdego kroku modelu.
Określenie sposobu weryfikacji i walidacji modelu	<ul style="list-style-type: none"> – Czy do walidacji użyty zostanie zbiór danych, czy też wiedza dotycząca modelowanych zjawisk?

Zalety modelowania agentowego

Modelowanie agentowe oferuje bardzo złożoną strukturę tworzenia modeli, które uwzględniają złożoność elementów i obiektów modelu oraz złożoność środowiska, w jakim działają agenci, a także dynamiczne sprzężenia zwrotne, interakcje między podmiotami oraz inicjatywne podmiotów nie tylko o charakterze odgórnym, ale przede wszystkim oddolnym.

Dodatkowo, agenci w trakcie symulacji zdobywają doświadczenie, co może prowadzić zarówno do całkowitej zmiany strategii decyzyjnej agenta, jak i jedynie do dostosowania parametrów w celu optymalizacji podjętych działań w kolejnych krokach modelu. Działania

agentów mogą być ustalone zarówno w sposób synchroniczny, jak i asynchroniczny. Mogą być typowo reaktywne (agenci jedynie reagują na konkretne bodźce) lub nastawione na osiągnięcie konkretnego celu.

Podstawą działania automatów komórkowych, z których wywodzą się modele agentowe, były interakcje odbywające się jedynie w ścisłym sąsiedztwie komórek. Modele agentowe pozwalają na podejmowanie przez agentów działań na odległość. To znaczy, że decyzje agentów mają wpływ na obiekty rozmieszczone w całym środowisku działania agentów, podobnie jak wpływ na zasady decyzyjne agentów mogą mieć czynniki, które nie występują w ścisłym, fizycznym ich sąsiedztwie.

Modelowanie agentowe jest podejściem bardzo elastycznym (Crooks, Heppenstall, 2012). Tabela 2 przedstawia porównanie możliwości modelowania, zawartych w klasycznych podejściach do modelowania, rozwijanych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku oraz w modelowaniu agentowym.

Tabela 2. Różnice między tradycyjnymi technikami modelowania a modelowaniem agentowym (Bernard, 1999)

Tradycyjne techniki modelowania	Modelowanie agentowe
Modele deterministyczne (jeden scenariusz)	Modele stochastyczne (wiele scenariuszy)
Odgórne (ang. <i>top-down</i>)	Oddolne (ang. <i>bottom-up</i>)
Równania oparte na wzorach	Agenci dostosowujący swoje zachowania
Nie wyjaśniają przyczyn występowania zjawisk	Posiadają siłę wyjaśniającą zjawiska
Kilka parametrów	Liczne parametry
Ograniczone przestrzenie	Modele przestrzenne
Działają na danym środowisku	Możliwość zbudowania środowiska działania
Twórca modelu reaguje na jego zachowania	Twórca modelu zdobywa wiedzę obserwując go

Tabela 2 uwypukla najważniejsze założenia modelowania agentowego w konfrontacji z pozostałymi technikami modelowania wykorzystywanymi w badaniach przyrodniczych:

- modele agentowe prowadzą do powstania wielu różnych scenariuszy działania i rozwoju systemu,
- modele agentowe pozwalają na obserwowanie rozwoju zjawisk w zależności od decyzji, jakie podejmują w modelu agenci,
- agenci w modelu potrafią dostosowywać swoje działania, a działanie modelu nie jest jedynie oparte na równaniach matematycznych,
- modelowanie agentowe może wyjaśniać przyczyny zjawisk, a nie jedynie opisywać zjawiska w sposób ilościowy,
- w modelach agentowych można zastosować nieograniczoną wręcz liczbę parametrów, co jest niemożliwe w modelach opartych jedynie na równaniach matematycznych,
- modele agentowe są w pełni przestrzenne i pozwalają na analizę zjawisk w kontekście ich położenia w przestrzeni i rozmieszczenia; agenci są mobilni i mogą poruszać się po środowisku działania z dowolną prędkością,
- w modelach agentowych możliwe jest zaprojektowanie środowiska ich działania od początku do końca,
- wiele przebiegów modelu daje informacje na temat przebiegu zjawisk w zależności od różnych scenariuszy.

Modelowanie agentowe pozwala na zaprojektowania symulacji w sposób najbardziej zbliżony do rzeczywistości, zwłaszcza w sytuacjach, gdy jednostki modelu mogą być reprezentowane w środowisku obiektowym (Gilbert, Terna, 2000). ABM pozwala na symulacje również tych zjawisk, których nie można zapisać i wyrazić w formie równania matematycznego (Axelrod, 1997). ABM nie ogranicza się do jednej skali przestrzennej. Można zastosować dowolną skalę przestrzenną. Dla przykładu Gwynne i in. (2001) opisali zachowania osób w budynku w czasie ewakuacji, Nagel (2003) opisał schemat ruchu samochodów na ulicy, a Brown i in. (2005) stworzył model rozwoju miasta. ABM pozwala także łączyć różne skale przestrzenne w jednym modelu (Crooks, Heppenstal, 2012)

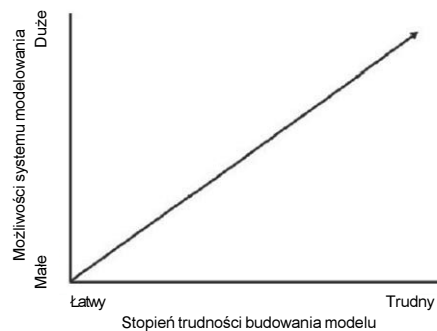
Wady modelowania agentowego

Entuzjazm, jaki mogą wywołać możliwości zastosowania modeli agentowych w GIS, musi być skonfrontowany z ich ograniczeniami. Przede wszystkim każdy model jest na tyle użyteczny, na ile ważny jest problem, który udało się za jego pomocą rozwiązać. Częstym zarzutem wobec modeli agentowych jest fakt, że opisują rzeczywistość w znacznie uproszczony sposób (Couclelis, 2002). Mimo wysokiego poziomu złożoności samego modelu, zawsze należy dokonać w nim znaczących uproszczeń, gdyż często zagadnienia i zjawiska opisywane przez model mają charakter bardzo kompleksowy. Z drugiej zaś strony, wzięcie pod uwagę zbyt wielu szczegółów sprawi, że model może okazać się zbyt szczegółowy.

Kolejnym ograniczeniem jest fakt, że modele agentowe często opisują zjawiska, w których bierze udział człowiek. Człowiek natomiast jest jednostką, którą nie zawsze postępuje racjonalnie oraz dokonuje nierzadko bardzo subiektywnych wyborów. Opisanie ilościowe oraz kalibracja tego rodzaju parametrów jest zadaniem bardzo trudnym, a czasem wręcz niemożliwym.

Mimo stałego wzrostu mocy obliczeniowej komputerów, wciąż problemem jest modelowanie bardzo dużych systemów. Dzieje się to wolno, a biorąc pod uwagę, że istotą ABM jest wykonywanie bardzo dużej liczby symulacji, może to stanowić znaczący problem (Parry, Bithnell, 2012). Odpowiednie dostosowanie poziomu szczegółowości do wytyczonych celów modelu może jednak rozwiązać ten problem.

Dodatkowo należy mieć świadomość, że przebieg symulacji z wykorzystaniem ABM jest w dużym stopniu uzależniony od warunków początkowych modelu oraz od sposobu opisu interakcji między agentami (Couclelis, 2002). Zmiana któregoś z tych czynników może drastycznie zmienić przebieg symulacji. To zaś oznacza, że użycie modelu w celach predykcyjnych nie jest zadaniem łatwym i jest pracochłonne (Batty i Torrens, 2005).



Rys. 3. Równowaga pomiędzy stopniem trudności budowania modelu, a możliwościami systemu, w którym model jest rozwijany (Crooks, Castle 2012)

Wnioski i dyskusja

Integracja ABM i GIS wciąż jest zadaniem trudnym (Gilbert, 2007). Wymaga odpowiedzi na wiele istotnych i niełatwych pytań: jakich danych użyć w modelu, jaki powinien być poziom interakcji agentów i interakcji agentów z otoczeniem, w jaki sposób reprezentować zjawiska o dużej dozie losowości, co do których występowania trudno pozyskać jednoznaczne dane przestrzenne? Dodatkowo należy pamiętać, że stworzenie modelu składającego się z setek lub tysięcy agentów, którzy wykorzystują dane przestrzenne, wchodzi w interakcje między sobą, są mobilni i wprowadzają zmiany do tabel atrybutów warstw wektorowych – jest zadaniem wymagającym bardzo dużej mocy obliczeniowej.

Głównym celem artykułu jest przybliżenie istoty modelowania agendowego, ze szczególnym uwzględnieniem środowiska GIS, przedstawienie jego elementów składowych i oprogramowania wspierającego oraz wskazanie możliwości integracji ABM i nauk geograficznych poprzez GIS.

Modelowanie agentowe stanowi reprezentację wybranego systemu i wyjaśnia, w jaki sposób ten system funkcjonuje, kładąc nacisk na rozpoznanie czynników determinujących jego działanie. Dzięki poznaniu hierarchii ważności zmiennych można wygenerować wiele scenariuszy dla modelowanej sytuacji, które można następnie porównywać i analizować.

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.

Istnieje wiele pakietów oprogramowania i narzędzi, służących do tworzenia modeli agentowych, o różnym stopniu skomplikowania, pozwalających na samodzielną budowę, bądź edycję gotowych modeli. W zależności od stopnia zaawansowania, wiedzy i umiejętności użytkownika programowanie modelu może stanowić duże wyzwanie, zwłaszcza na wstępnym etapie, kiedy należy określić wiele właściwości elementów modelu.

Modelowanie agentowe stanowi zaawansowane narzędzie o dużej funkcjonalności i znacznych możliwościach aplikacyjnych, co sprawia, iż z powodzeniem może być stosowane dla różnorodnych celów w wielu dziedzinach nauki. Jest niezwykle przydatne w procesie wspierania podejmowania decyzji, do symulacji zjawisk ekstremalnych, prognozowania rozwoju środowiska, planowania przestrzennego lub oceny oddziaływania na środowisko.

W świetle powyższych stwierdzeń warto zastanowić się, kiedy uwzględnienie w modelowaniu bardziej skomplikowanego i wymagającego podejścia agentowego jest uzasadnione i użyteczne. O'Sullivan i in. (2012) wskazują, że szeroki zakres modeli ABM, od prostych i abstrakcyjnych po zaawansowane i stosunkowo wiernie oddające rzeczywistość, utrudnia jednoznaczną odpowiedź. North i Macal (2007) wskazują, że modelowanie agentowe może być stosowane we wszystkich badaniach, w których:

- 1) wskazana jest reprezentacja elementów i obiektów systemu przez agentów,
- 2) decyzje i zachowania mogą być określone w sposób ciągły (dyskretny),
- 3) elementy i obiekty systemu potrafią zmieniać i dostosowywać swoje zachowania,
- 4) elementy i obiekty systemu potrafią się uczyć,
- 5) elementy i obiekty systemu pozostają we wzajemnych relacjach i oddziałują na siebie nawzajem,
- 6) jest istotne, by modelowane zjawiska ukazać przestrzennie,
- 7) przeszłość nie jest najlepszym kluczem do poznania przyszłości,
- 8) korzystne może być zastosowanie dużej skali przestrzennej,

9) struktura funkcjonowania systemu zależy w większym stopniu od przebiegu symulacji niż od parametrów wejściowych modelu.

Stąd też należy wziąć pod uwagę, kiedy korzyści płynące z zastosowania ABM są większe niż wysiłek, jaki trzeba włożyć w przygotowanie modelu.

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.
- Axelrod R., 1997: *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, Princeton.
- Batty M., Torrens P.M., 2005: Modelling and Prediction in a Complex World. *Futures* 37 (7): 745-766.
- Bernard R.N., 1999: Using Adaptive Agent-Based Simulation Models to Assist Planners. [In:] *Policy Development: The Case of Rent Control*. Working Paper 99-07-052, Santa Fe, New Mexico, Santa Fe Institute.
- Bonabeau E., 2002: Agent-based modelling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 99 (3): 7280-7287.
- 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.
- Brown D.G., Page S.E., Riolo R., Zellner M., Rand W., 2005: Path dependence and the validation of agent-based spatial models of land use. *International Journal of Geographical Information Science* 19 (2): 153-174.
- Couclelis H., 2002: Modelling Frameworks, Paradigms, and Approaches. [In:] Clarke K.C., Parks B.E., Crane M.P. (eds.), *Geographic Information Systems and Environmental Modeling*. London: Prentice Hall: 36-50.
- Crooks A.T., Castle C., 2012: The Integration of Agent-Based Modeling and Geographical Information for Geospatial Simulation. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Springer, Dordrecht: 219-252.
- Crooks A.T., Heppenstall A.J., 2012: Introduction to Agent-Based Modelling. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Springer, Dordrecht: 141-165.
- Gilbert N., 2007: *Agent-based models*. London: Sage.
- Gilbert N., Terna P., 2000: How to Build and Use Agent-Based Models in Social Science, *Mind and Society* 1 (1): 57-72.
- Gwynne S., Galea E.R., Lawrence P.J., Filippidis L., 2001: Modelling Occupant Interaction with Fire Conditions Using the Building EXODUS Evacuation Model. *Fire Safety Journal* 36 (4): 327-357.
- Johnston K.M., North M.J., Brown D.G., 2012: Introducing Agent-Based Modeling in the GIS Environment. [In:] Johnston K.M. (ed.), *Agent Analyst – Agent-Based Modeling in ArcGIS*, Redlands, Esri Press: 1-30.
- Ligmann-Zielińska A., 2010: Agent-based models. [In:] *Encyclopedia of Geography*. SAGE Publications, http://www.sage-ereference.com/geography/Article_n14.html
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2005: *Geographical Information Systems and Science*. Wiley, New York, 2 wyd.
- 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. (ed.), *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, Orlando: 2-15.
- Macy M., Willer R., 2002: From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling, *Annual Review of Sociology* 28: 143-166.
- Nagel K., Rasmussen S., 1994: Traffic at the Edge of Chaos. [In:] Brooks R. (ed.), *Artificial life*, MIT Press, Cambridge: 222-236.
- Nagel, K., 2003: Traffic networks. [In:] Bornholdt S., Schuster H. (eds.), *Handbook of graphs and networks: From the genome to the internet*: 248-272, New York: Wiley.
- North M.J., Macal C.M., 2007: *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*. Oxford University Press, New York.

- O'Sullivan D., Millington J., Perry G., Wainwright J., 2012: Agent-Based Models – Because They're Worth It? [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M, Batty M. (eds.), Agent-Based Models of Geographical Systems, Springer, Dordrecht: 69–84.
- Parry H.R., Bithnell M., 2012: Large scale agent-based modelling: A review and guidelines for model scaling. [In:] Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (red.), Agent-Based Models of Geographical Systems, Springer, Dordrecht: 525-542.
- Zwoliński Z., 2009: Rozwój myśli geoinformacyjnej. [W:] Zwoliński Z. (red.), GIS – platforma geografii, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań: 9-21.

Abstract

One of the most prospective bottom-up approaches to modeling of human-environment relations is agent-based modeling (ABM). ABM is a modern technique more and more often used in Geographical Information Science. It is based on entities called agents which can make spatial decisions. They can also exchange information with each other. Moreover, they have attributes which allow to describe their actual state. In classical approach to modeling, all entities are often quite similar. It is possible to create a model with very similar entities within ABM. These entities may behave slightly differently. Agents can have identical attributes and quite different decision rules. It allows a user to apply randomness in a model which is really crucial in environmental studies. ABM and simulation can be traced to investigations into complex adaptive systems, the evolution of cooperation and artificial life. Unlike other modeling approaches, ABM begins and ends with the agent's perspective. The application of ABM to simulating dynamics within GIS has seen a considerable increase over the last decade. Both agents and decisions they make have spatial reference. So linking AMB with GIS is a natural consequence of these two techniques development. ABM is normally a very useful decision making process, in extreme events simulation, forecasting the environment development, spatial planning, and environmental impact assessment.

In this paper possibilities of the use of ABM were presented. ABM is a modern research technique within GIS. Most important features of ABM were described as well as well-known software platforms and toolsets for agent-based model creating. Finally, information when the ABM can be especially useful in research work and how to select the best system which will fit the standards of our model was provided.

mgr Piotr Dzieszko
dzieszko@amu.edu.pl

mgr Katarzyna Bartkowiak
katbar@amu.edu.pl

mgr inż. Katarzyna Gielda-Pinas
kasia_gp@amu.edu.pl