

Joanna Miklewska
Katedra Zastosowań Matematyki Akademia Rolnicza w Szczecinie
e-mail: miklews@erl.edu.pl

MODELOWANIE OBSZARÓW PERI-URBAN ZASTOSOWANIE AUTOMATÓW KOMÓRKOWYCH I PODEJŚCIA AGENTOWEGO

Streszczenie: Autorka w artykule przedstawia metodykę prowadzenia badań w projekcie finansowanym przez niemieckie Ministerstwo Edukacji i Badań pt. „Integrated catchment management and risk-based resource allocation in urban and peri-urban areas” oraz w granice wewnątrzuczelnianym AR w Szczecinie Nr BW/HE/03/03. Miejszem badań są obszary aglomeracji Stuttgartu nazywane w literaturze, peri-urban, mieszczące się na przejściowych obszarach między miastem a obszarami wiejskimi. Są to aktualnie obszary podlegające intensywnym badaniom ze względu na ich bardzo dużą dynamikę i stale zmieniające się funkcje miasta i jego centrum. Autorka stosuje podejście agentowe wychodząc od modeli automatów komórkowych. Definiuje podstawowe pojęcia takie jak: rodzaje automatów komórkowych, typy agentów, sąsiedztwo, stany komórki, renta położenia (bid rent), efekty zewnętrzne. W artykule autorka wyprowadza podstawowe zależności dla efektów zewnętrznych.

Słowa kluczowe: obszary peri-urban, automaty komórkowe, renta położenia, sąsiedztwo, agenci

WSTĘP

Prezentowany w artykule model jest uproszczony (rozważane są dwa typy użytkowania ziemi), w grze bierze udział tylko dwóch agentów. Nie uwzględnia się decyzji związanych z planowaniem miasta i rozwojem obszarów wiejskich, obszarów na przejściu od wsi do miasta (peri-urban). Model uwzględnia jednak podstawowe procesy na obszarach peri-urban. Z literatury przedmiotu wynika, że w ubiegłych dekadach zachodziła konwersja ziemi rolniczej w ziemię zajmowaną przez rezydencje prywatne. Była to bardzo znacząca zmiana użytkowania ziemi, np. w Belgii ilość ziemi, która w ten sposób zmieniła właściciela wzrosła o 40% w okresie 1980 – 1995 po bardzo słabych zmianach w okresie 1950 – 1980 [Jehin 1998].

Należy podkreślić, że ziemia rolnicza jeszcze długo będzie głównym składnikiem obszarów peri-urban. Obecność i wpływ innych typów miejskiego użytkowania ziemi (np. usługi, infrastruktura) jest uwzględniana we wskaźniku gęstości powierzchni zajmowanej przez rezydencje.

W modelu rozważa się maksymalizację renty dla właścicieli ziemi lub maksymalizację funkcji użyteczności dla mieszkańców rezydencji. Ponieważ sąsiedztwo jest podstawą działania modeli CA (*cellular automata* – automaty komórkowe) i ze względu na to, że koszty przełączeń stanowią główny składnik kosztów w obrębie ekonomii miasta (dla komunikacji wewnątrz obszarów

badanych; używam pojęcia przełączeń gdyż pełniej oddaje ono istotę kosztów transportowych w odróżnieniu od słowa połączenie), oczywistym staje się połączenie i włączenie tych dwóch technik do analizy procesów rozwoju i wzrostu na obszarach peri-urban. Teoria ekonomii miasta jest nową teorią i ma swoje korzenie w teorii ekonomii, powstała z potrzeby rozwiązywania miejskich problemów (zagęszczenie, segregacja, rozrost obszarów sub-urban i peri-urban, zmniejszanie się roli centrów miast i powstawaniu CBD – Centralnych Obszaru Biznesu, tworzeniu się klastrów rozwojowych. Ekonomia miasta jest rozszerzeniem kontekstu lokalizacji i użytkowania ziemi prezentowanego min. w pracach [Alonso 1964; Muth 1969; Mills 1967] oraz w podstawowej pracy związanej z rozważaniem renty położenia (*bid-rent*) i rolniczego odniesienia się do obszarów peri-urban [Von Thünen 1826].

Zakłada się, że ewolucja obszaru peri-urban i jego przestrzenna struktura jest wynikiem działania, z jednej strony sił sprawczych pochodzących od całego regionu metropolitalnego, z drugiej strony jest wynikiem działania sił sprawczych, rozproszonych, pochodzących od lokalnych aglomeracji i działających w skali sąsiedztwa, takich jak koszty zamiany przełączeń komunikacyjnych, lokalny dostęp do usług i ich jakość oraz obecność obszarów zielonych i ich wartości estetyczne. Wymienione wyżej, poprawiające jakość życia wartości zewnętrzne (będące wynikiem istnienia efektów zewnętrznych), mogą być w prosty sposób modelowane za pomocą funkcji lokalnej gęstości zamieszkania. Do tych wartości zewnętrznych włączyć można również zmienne takie jak: stopień zatłoczenia, kontakty społeczne, dostęp do dóbr publicznych, itp.

Zakłada się, że każdy agent jest w stanie kupić przylegającą część ziemi. Przez $R(r)$ oznaczmy rynkową rentę ziemi (zależną liniowo od rynkowej ceny ziemi). Istotą modelu jest funkcja *bid rent* (funkcja renty położenia), którą definiuje się jako maksymalną wartość pieniężną, którą gotów jest zapłacić agent za dany obszar ziemi przy danej odległości od CBD, która to wartość zapewni mu utrzymanie pożądanego, stałego poziomu użyteczności.

POSTAWIENIE ZADANIA

Zdefiniujmy automat komórkowy (CA).

I definicja formalna. Jeżeli: 1) przez α oznaczymy regularną, uporządkowaną siatkę złożoną z jednakowych komórek c o budowie zależnej od rozmiaru przestrzeni i od kształtu pojedynczej komórki, 2) przez S - skończony zbiór stanów, jaki może przyjąć komórka c , 3) przez N - skończony zbiór sąsiadów, spełniający warunek $\forall c \in N, \forall r \in \alpha \rightarrow r + c \in \alpha$, 4) a funkcję przejścia definiującą reguły ewolucji automatu w kolejnych krokach oraz dynamikę tych przejść zapiszemy jako $f: S^m \rightarrow S$, to automat komórkowy

definiujemy jako czwórkę $A \equiv (\alpha, S, N, f)$. Pełny opis automatu komórkowego wymaga określenie warunków brzegowych i początkowych.

II definicja [wg Edwarda Fredkina, <http://www.digitalphilosophy.org/>].

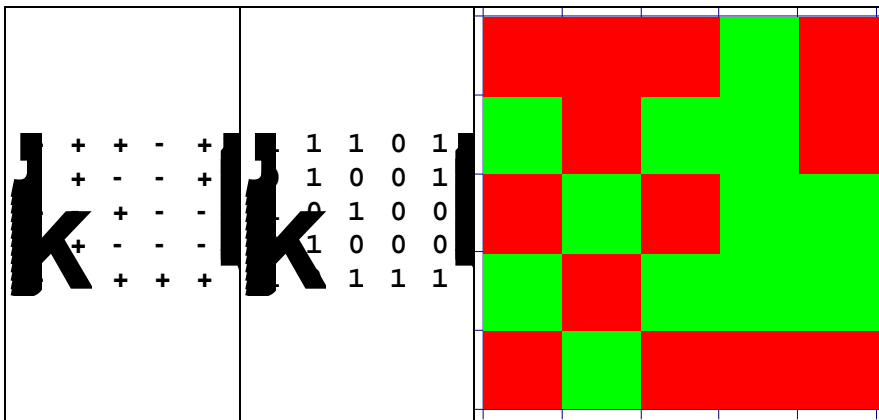
Podstawą jego definicji jest dwuwymiarowa kwadratowa siatka, w której każda komórka opisana jest przez wektor pozycji $\vec{r} = (i, j)$, gdzie i, j są indeksami kolumn i wierszy siatki. Stan każdej komórki w iteracji t jest opisywany przez $\phi_i(\vec{r}, t)$ i może przyjmować wartości binarne 0 i 1. Na automat komórkowy składają się: 1) regularna siatka o d -wymiarowej przestrzeni, 2) ustanowienie początkowe $\phi(\vec{r}, t) = \{\phi_1(\vec{r}, t), \phi_2(\vec{r}, t), \dots, \phi_m(\vec{r}, t)\}$ zmiennych boolowskich w każdym miejscu \vec{r} siatki, 3) reguła $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$, która ustala stan $\phi(\vec{r}, t)$ w czasie $\phi_j(\vec{r}, t + \tau) = R_j(\phi(\vec{r}, t), \phi(\vec{r} + \delta_1, t), \phi(\vec{r} + \delta_2, t), \dots, \phi(\vec{r} + \delta_q, t))$, gdzie $\vec{r} + \delta_q$ oznacza komórki należące do skończonego zbioru sąsiadów \vec{r} .

Zwykle pracujemy z dwu-wymiarowym automatem komórkowym, reprezentowanym przez prostokątny (w ogólności) obszar (Rys. 1).

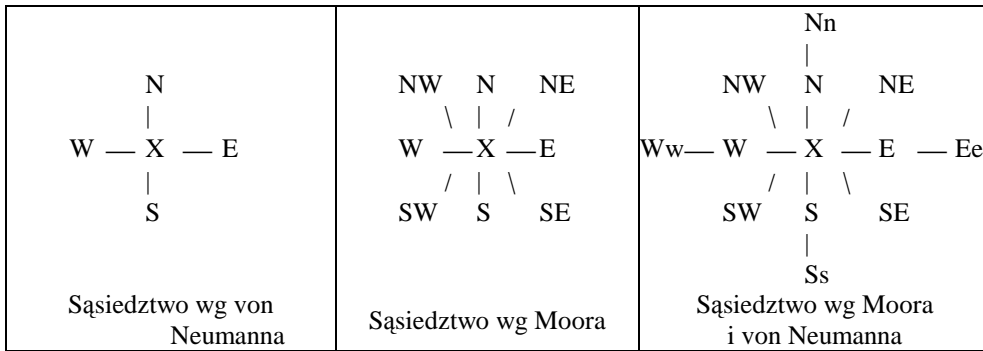
Najbardziej rozpowszechnione, ze względu na atrybut sąsiedztwa, są dwa rodzaje automatów komórkowych, von Neumanna i Moora, oraz rodzaj pośredni MvonN (Moora i von Neumanna) (Rys.1 i 2).

Automat komórkowy $C_{i,j}^t$ (użytkowanie ziemi) charakteryzuje się sąsiedztwem innych CA i zmienia się w czasie t :

$$C_{ij}^t = f(C_{i,j}^{t-1}, C_{i-1,j}^{t-1}, C_{i+1,j}^{t-1}, C_{i,j-1}^{t-1}, C_{i,j+1}^{t-1}). \quad (1)$$



Rysunek 1. Przykłady automatów komórkowych wygenerowanych przez program MATHEMATICA (źródło: obliczenia własne)



Rysunek 2. Sąsiedztwa X w automatach komórkowych

W rzeczywistości zależy również od szeregu zmiennych $Xn_{j,j}^t$ opisujących dynamikę zmian w automacie komórkowym i w jego otoczeniu:

$$C_{ij}^t = f(C_{i,j}^{t-1}, C_{i-1,j}^{t-1}, C_{i+1,j}^{t-1}, C_{i,j-1}^{t-1}, C_{i,j+1}^{t-1}, X1_{i,j}^{t-1}, \dots, Xn_{i,j}^{t-1}). \quad (2)$$

Założenie 1. Region jest reprezentowany przez dyskretną przestrzeń, w postaci siatki, ze skończoną ilością lokalizacji, z której każda posiada jedyny (wyłączny) tytuł własności.

Rozważmy siatkę posiadającą I kolumn i J wierszy, składającą się z $G = I \times J$ komórek ij jednakowego kształtu i rozmiaru. Każda lokalizacja jest kwadratem, co jest bardzo wygodne w procesie symulacji i łatwo można zaadoptować ten typ prezentacji przestrzeni do danych rastrowych.

Każda lokalizacja jest charakteryzowana przez kolejny atrybut, rodzaj agenta posiadającego tytuł własności do tego minimalnego obszaru ij . Wyróżniamy tylko dwa typy agentów: rolnik (A) i rezydent – właściciel rezydencji (H). Stan komórki ij w czasie t zależy zarówno od rezydencji jak i od rolnictwa, głównie tych położonych najbliżej, $C_{i,j}^t \in \{H, A\}$. Miejsce podejmowania decyzji pokrywa się idealnie z typem użytkowania ziemi. Całkowita ilość agentów na danym obszarze jest równa $G = H_G^T + A_G^T$. To założenie powoduje, że modele CA są stosowane razem z modelami wielo-agentowymi.

Założenie 2. Bezwymiarowe CBD ma położenie $(0, 0)$ w naszej siatce. CBD oferuje różne nie-rolnicze prace i zapewnia dostęp do dóbr konsumpcyjnych. Każda komórka ij jest ponadto charakteryzowana przez odległość euklidesową, $d_{i,j}$, od CBD, która jest odległością przełączaną (związaną z transportem i komunikacją).

Założenie 3. Obszar peri-urban jest systemem dynamicznym, w którym różne typy agentów podejmują decyzje dotyczące przyszłej lokalizacji w czasie t uwzględniając wiedzę na temat użytkowania ziemi w sąsiednich komórkach w czasie $t-1$. Poziom wartości zewnętrznych ułatwiających i poprawiających jakość

życia mieszkańców danego miejsca (dalej, efekty zewnętrzne) jest funkcją użytkowania ziemi w sąsiednich komórkach i jednocześnie funkcją odległości między tym miejscem a jego sąsiadami.

MODEL

Wychodzimy z założenia, że podstawową informacją potrzebną do budowy modelu jest liczba rezydentów (właścicieli rezydencji) i ich konfiguracja w najbliższym sąsiedztwie rozważanej lokalizacji. Sąsiedztwem komórki ij jest zbiór komórek kl , który oznaczymy przez $N_{i,j}$. Każda komórka kl należąca do $N_{i,j}$ charakteryzuje się odległością euklidesową $x_{k,l}$ oddzielającą ij od kl , zwaną odległością ogniskową. Stopień sąsiedztwa oznaczymy przez \hat{x} , jest to maksymalna odległość ogniskowa w danym sąsiedztwie ($x_{k,l} \leq \hat{x}$):

$$\hat{x} = \max_{k,l} x_{k,l}. \quad (3)$$

Sąsiedztwo $N_{i,j}$ składa się z n komórek, $n = n_{H_{i,j}} + n_{A_{i,j}}$, gdzie $n_{H_{i,j}}$ jest liczbą rezydentów a $n_{A_{i,j}}$ jest liczbą rolników w danym $N_{i,j}$. Tym samym \hat{x} i n są zmiennymi egzogenicznymi i homogenicznymi w czasie i w przestrzeni.

RÓWNOWAGA W DŁUGIM OKRESIE

Ciągła konfrontacja z rentą położenia (w rzeczywistości z rentami położenia) określa przynależność danej komórki $C_{i,j}^t \in \{H, A\}$ do jednego z dwóch agentów (rolnika lub rezydenta) oraz determinuje rentę ziemi, $R_{i,j}^t$. Dodanie do modelu efektów zewnętrznych, stale branych pod uwagę przez rezydentów, prowadzi do wielu krzywych bid rent. W dalszych rozważaniach, opuścimy górny indeks t , gdyż zakładamy, że będziemy odnosić się do bieżącego czasu, chyba, że zapiszemy wyraźnie inną chwilę czasu.

Model skupia się na zachowaniach rezydenta. Stąd, rolnicza bid rent, $\Phi_{i,j}$, jest dana jako egzogeniczna zmienna zgodnie z liniową zależnością typu von Thünera, $\Phi_{i,j} = \Phi_{0,0} - b d_{i,j}$. W pierwszym zbiorze symulacji, zakłada się, że rolnicza bid rent jest stała ($\Phi_{i,j} = \Phi_{0,0}$). W następnym kroku, nachylenie b zmienia się egzogenicznie.

Rezydencjalną bid rent, $\Psi_{i,j}$, właścicieli rezydencji (wszystkie identyczne ze względu na preferencje i dochód) otrzymuje się z rozwiązania zadania maksymalizacji funkcji użyteczności pod warunkiem spełnienia ograniczeń wynikających z budżetu. Użyteczność rezydencjalna, U , jest funkcją koszyka dóbr konsumpcyjnych Z (niezwiązanych z przestrzenią), konsumpcji ziemi i efektów zewnętrznych. Lokalne sąsiedztwo dla danego lokalnego położenia jest źródłem zarówno dodatnich jak i ujemnych efektów zewnętrznych. Efekty zewnętrzne

dzieli się na dwie grupy: efekty zewnętrzne środowiskowe $E_{i,j}$ (o małej gęstości), i efekty zewnętrzne społeczne, $S_{i,j}$, odzwierciedlające preferencje wobec społecznych usług i kontaktów, szkół, publicznego transportu, sieci usług, itp. Oba typy efektów zewnętrznych można włączyć do funkcji Cobb-Douglasa:

$$\text{Max}U(Z_{i,j}, E_{i,j}, S_{i,j}) = Z_{i,j} E_{i,j}^{\beta} S_{i,j}^{\gamma}. \quad (4)$$

Konsumpcja ziemi jest znormalizowana do wartości 1. Wielkości β i γ to odpowiednio elastyczność U względem $E_{i,j}$ i $S_{i,j}$. β i γ przyjmują wartości dodatnie, możliwe są także dla nich przypadki przyjmowania wartości granicznych. W wielu symulacjach γ przyjmuje wartość 1.

Niech $L_{i,j}$ oznacza całkowitą wielkość lokalnych efektów zewnętrznych zgromadzonych w sąsiedztwie ij , wówczas mamy:

$$L_{i,j} = E_{i,j}^{\beta} S_{i,j}^{\gamma} \quad (5)$$

Każdy rezydent przełącza się do CBD albo do pracy albo po zakupy albo po jedno i drugie. Otrzymuje stały dochód Y , z którego część musi być przeznaczona na koszty przełączeń, $T(d_{i,j}) = ad_{i,j}$, gdzie a jest kosztem przejazdu jednostki odległości a , $d_{i,j}$ jest odległością do CBD. Bilans budżetu rezydenta jest następujący ($Z_{i,j}$ jest poziomem konsumpcji, $R_{i,j}$ jest rentą z jednostki ziemi w lokalizacji ij):

$$Y = ad_{i,j} + Z_{i,j} + R_{i,j} \quad (6)$$

i dalej, pośrednia funkcja użyteczności jest postaci:

$$V_{i,j} = (Y - ad_{i,j} - R_{i,j})L_{i,j}. \quad (7)$$

W długotrwałym stanie równowagi, wszyscy rezydenci cieszą się tym samym poziomem użyteczności, \bar{u} , odpowiadającym użyteczności otaczającego ich świata. Odpowiada to założeniom otwartego miasta. Funkcja bid rent jest wyrażona w maksymalnej wartości renty, którą gotowy jest zapłacić rezydent za mieszkanie w danej lokalizacji w celu osiągnięcia poziomu równowagi \bar{u} dla użyteczności. Zachodzi, więc:

$$\Psi_{i,j} = y - ad_{i,j} - \bar{u}L_{i,j}^{-1}. \quad (8)$$

Zakłada się, że efekty zewnętrzne sąsiedztwa, $E_{i,j}$ i $S_{i,j}$, są funkcjami gęstości, $\rho_{i,j}$, rezydencji w sąsiedztwie $N_{i,j}$. Każdej komórce w sąsiedztwie $N_{i,j}$ przyporządkujemy wagi $w_{k,l}$, zależne od odległości ogniskowej $x_{k,l}$ i od stopnia sąsiedztwa, \hat{x} . Otrzymamy malejącą funkcję przy warunku $0 < w_{k,l} \leq 1$:

$$w_{k,l} = 1 - \left(\frac{x_{k,l} - 1}{\hat{x}} \right)^{\sigma}, \quad (9)$$

gdzie σ ma wartość dodatnią, efekt zanikanie znaczenia wagi maleje wypukle z odległością dla $\sigma \in [0, 1]$ i liniowo dla $\sigma = 1$. Dla $\sigma =$ ten efekt nie ma znaczenia.

Potencjalne lokalne interakcje, lub lokalna, ważona gęstość rezydencjalna wyraża się przez:

$$\rho_{i,j} = \frac{\sum_{k,l \in N_{i,j}} w_{k,l} H_{k,l}}{\sum_{k,l \in N_{i,j}} w_{k,l}}, \quad (10)$$

gdzie $H_{k,l} = 1$ jeżeli $C_{k,l} = H$ i $H_{k,l} = 0$ w pozostałych przypadkach.

Wartości $\rho_{i,j} \in [0, 1]$.

Można teraz $E_{i,j}$ i $S_{i,j}$ zdefiniować jako funkcje $\rho_{i,j}$. Środowiskowe efekty zewnętrzne, $E(\rho_{i,j})$, z założenia maleją wraz z zwiększaniem się gęstości rezydencjalnej. W przestrzeni można zaobserwować proces utraty i defragmentacji obszarów zielonych (tworzenie się tzw „łat”) powodowany zwiększaniem się rezydencji w sąsiedztwie. E staje się lokalną siłą sprawczą rozpraszania. I przeciwnie, $S(\rho_{i,j})$, społeczne efekty zewnętrzne, wzrastają wraz ze wzrostem gęstości sąsiedztwa. Tym samym S staje się lokalną siłą sprawczą działającą na rzecz aglomeracji. Dodatkowi rezydenci pojawiający się w sąsiedztwie powoduje wzrost kontaktów osobistych, wzrost usług i wzrost obrotu różnymi rodzajami dóbr i towarów.

Zakładamy, że oba efekty zewnętrzne są funkcjami wykładniczymi:

$$E_{i,j} = e^{-(\rho_{i,j})^\Theta}, \quad S_{i,j} = e^{(\rho_{i,j})^\Phi}, \quad (11)$$

gdzie zarówno Θ jak i Φ mają wartości dodatnie. Przy tych założeniach otrzymujemy:

$$L_{i,j} = E_{i,j}^\beta S_{i,j}^\gamma = e^{(\gamma \rho_{i,j}^\Phi - \beta \rho_{i,j}^\Theta)}. \quad (12)$$

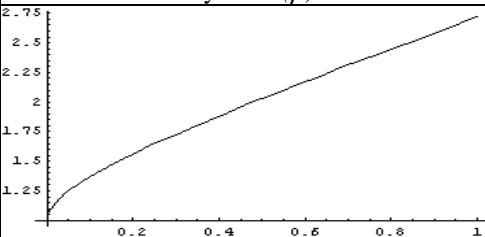
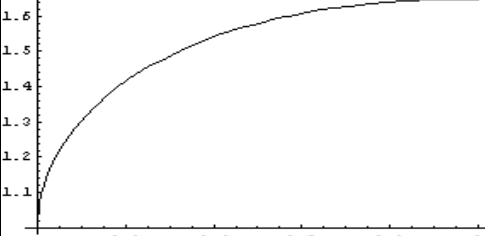
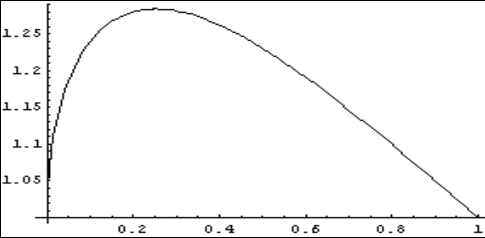
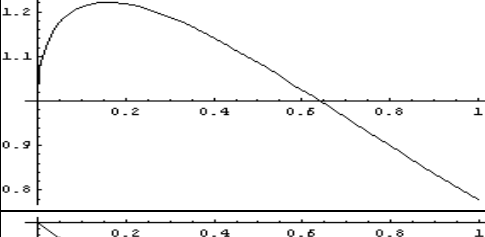
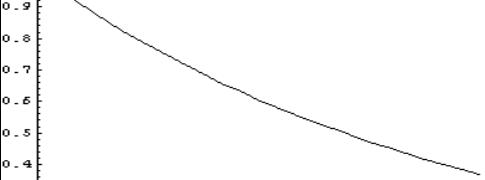
Dalej zakładamy, że każdy krańcowy wzrost gęstości lokalnej ma malejący wpływ na wielkość efektów zewnętrznych identyfikowanych przez rezydenta. Funkcja $E(\rho)$ musi być, więc ściśle wypukła, zaś $S(\rho)$ musi być ściśle wklęsła. Ze szczegółowych obliczeń wynika, że zmienność ρ w zakresie od 0 do 1 powoduje zmienność Θ od 0 do 1 i zmienność Φ od 0 do 0,5 (Tab. 1).

Posiadając już tak skonstruowane postaci funkcji można prześledzić zmienność całościowego efektu zewnętrznego $L(\rho)$ (Tab. 1). Istnienie maksimum dla funkcji $L(\rho)$ jest warunkowe. Maksimum istnieje dla warunku $\Theta > \Phi$, wówczas maksimum $L(\rho)$ jest w punkcie:

$$\rho^* = \left(\frac{\Phi \gamma}{\Theta \beta} \right)^{1/(\Theta - \Phi)} \quad (13)$$

Dodatkowy warunek jest potrzebny, żeby wartość ρ^* zawierała się w przedziale $[0, 1]$, mianowicie musi zachodzić warunek $\Theta \beta \geq \Phi \gamma$

Tabela 1. Prezentacja całkowitego efektu zewnętrznego i gęstość sąsiedztwa dla różnych preferencji rezydentów

Wartości zmiennych	Maksimum	ρ^*	Wykres $L(\rho)$
$\Theta = 1.00$ $\Phi = 0.50$ $\beta = 0.00$ $\gamma = 1.00$	nie istnieje $\Theta > \Phi$ $\Theta\beta \leq \Phi\gamma$	Nie istnieje	
$\Theta = 1.0$ $\Phi = 0.5$ $\beta = 0.50$ $\gamma = 1.00$	istnieje $\Theta > \Phi$ $\Theta\beta \geq \Phi\gamma$	$\rho^* = 1$	
$\Theta = 1.0$ $\Phi = 0.5$ $\beta = 1.00$ $\gamma = 1.00$	istnieje $\Theta > \Phi$ $\Theta\beta \geq \Phi\gamma$	$\rho^* = 0.25$	
$\Theta = 1.0$ $\Phi = 0.5$ $\beta = 1.25$ $\gamma = 1.00$	istnieje $\Theta > \Phi$ $\Theta\beta \geq \Phi\gamma$	$\rho^* = 0.16$	
$\Theta = 1.0$ $\Phi = 0.5$ $\beta = 1.00$ $\gamma = 0.00$	istnieje $\Theta > \Phi$ $\Theta\beta \geq \Phi\gamma$	$\rho^* = 0.00$	

Źródło: Obliczenia i wykresy autorka uzyskała stosując własne solvery w programie MATHEMATICA

Analizując wyniki przedstawione w tab.1 stwierdzamy, że niskie preferencje dla obszarów zielonych (mała wartość β) powodują wysoką wartość parametru

gęstości sąsiedztwa. W tym przypadku, nawet dla zupełnie zurbanizowanego środowiska ($\rho = 1$) rezydenci otrzymują profity wynikające z sąsiedztwa. Gdy stwierdzamy większe preferencje dla obszarów zielonych i wolnej przestrzeni (większa wartość β) to obserwujemy szybsze osiągnięcie optymalnej gęstości sąsiedztwa i również szybsze zanikanie całkowitych efektów zewnętrznych (L). Natomiast, ujemne efekty zewnętrzne ($L(\rho) < 1$) są generowane, gdy $\beta > \gamma$, tj., gdy preferencje dla obszarów zielonych są wysokie i gdy sąsiedztwa mają wysoką gęstość rezydencjalną. Gdy $\beta = \gamma$, rezydenci nie mają zdecydowanego wyboru (postawa indyferentna) między w pełni zurbanizowanym sąsiedztwem ($\rho = 1$) a zupełnie pustym sąsiedztwem ($\rho = 0$), ale zwykle preferują pośrednie gęstości. Zmniejszanie wartości Θ podkreśla cechę wypukłości (na wykresie) efektów zewnętrznych związanych z otwartą przestrzenią i kieruje więcej uwagi na znaczenie bardzo małej gęstości sąsiedztwa. Podobnie, zmniejszanie Φ powoduje wklęsłość (na wykresie) społecznych efektów zewnętrznych i także kieruje uwagę na bardzo małe gęstości sąsiedztwa. W obu przypadkach optymalna gęstość może być mniejsza.

Rezydencjalną funkcję bid rent można teraz przedstawić w postaci funkcji ważonych gęstości sąsiedztwa, $\rho_{i,j}$:

$$\Psi_{i,j} = y - ad_{i,j} - \bar{u}e^{(\beta\rho_{i,j}^\ominus - \gamma\rho_{i,j}^\oplus)}. \quad (14)$$

Analizą tej funkcji autorka zajmie się w następnych publikacjach.

PODSUMOWANIE

Autorka przedstawia pierwsze wyniki badań nad modelowaniem obszarów peri-urban. W artykule skoncentrowała się na wprowadzenie do metodyki badań, wynikających z uzgodnień wewnątrz zespołu badawczego, włączając do modeli automatów komórkowych problem działania agentów i ich preferencji. Pierwsze wyniki badań są obiecujące. W następnym etapie badania autorki będą skupiać się na problematyce wzrostu ekonomicznego na obszarach peri-urban, a więc na tematyce, którą autorka zajmowała się do tej pory.

LITERATURA

- Alonso W. (1964) *Location and Land Use: toward a general theory of land rent*, Harvard University Press, Cambridge.
- Fredkin E., <http://www.digitalphilosophy.org/>.
- Jehin J.B. (1998) La périurbanisation et la rurbanisation à travers la consommation d'espace, *Bulletin de la Soci'et'e G'eographique de Li'ege*, 34, str. 45–52.
- Mills E.S. (1967) An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area, *American Economic Review*, 57, str. 197–210.
- Muth R.F. (1969) *Cities and Housing*, University of Chicago Press, Chicago.

von Thünen J.H. (1875/1966) *Thünen's isolated state*. Ed. Peter Hall. Oxford: Pergamon Press. Original edition, *Der Isolierte Staat in Beziehung der Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1826.

Modelling of the peri-urban areas application of the cellular automata and agent-based approach

Summary: In this paper author described methodology of ongoing research projects. The first project is financed by German Ministry of Education and Research, entitled "Integrated catchment management and risk-based resource allocation in urban and peri-urban areas". The second is an inner grant in Agricultural University in Szczecin, No BW/HE/03/03. The study area is a peri-urban area located at GSR (The Great Stuttgart Region). A rapidly growing changes resulting from many different driving forces can be observed in this region. The main driving forces were identified as inner and outer dynamics, changing functions of the urban, decreasing the significance of the city centers. Author introduced cellular automata models and agent-based approach. Cellular automata types, neighborhood, cellular automata states, bid rent, and externalities were defined. The equation for total externalities was drawn out.

Key words: peri-urban areas, cellular automata, bid rent, neighborhood, agents.