

Ekonometria przestrzenna II

Modele zaawansowane

Redakcja naukowa
Bogdan Suchecki

Wydawnictwo C.H. Beck 

Ekonometria przestrzenna II

Autorzy:

Elżbieta Antczak rozdziały 3*, 4

Karolina Lewandowska-Gwarda rozdziały 5, 6

Alicja Olejnik rozdział 2

Bogdan Suchecki wstęp, wprowadzenie, rozdziały 1, 3*,
zakończenie

* współautorstwo

Ekonometria przestrzenna II

Modele zaawansowane

Redakcja naukowa

Bogdan Suchecki



WYDAWNICTWO C.H. BECK
WARSZAWA 2012

Wydawca: Dorota Ostrowska-Furmanek
Redakcja merytoryczna: Anna Bogdanienko
Recenzent: prof. dr hab. Andrzej St. Barczak
Projekt okładki i stron tytułowych: Maryna Wiśniewska
Ilustracja na okładce: © Mark Evans/iStockphoto.com

Seria: Metody ilościowe

Złożono programem T_EX

**Publikacja dofinansowana ze środków Wydziału
Ekonomiczno-Socjologicznego Uniwersytetu Łódzkiego**



© Wydawnictwo C.H. Beck 2012

Wydawnictwo C.H. Beck Sp. z o.o.
ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa

Skład i łamanie: Wydawnictwo C.H. Beck
Druk i oprawa: Elpil, Siedlce

ISBN 978-83-255-4015-9
e-book 978-83-255-4016-6

Spis treści

Wstęp	
<i>(Bogdan Suchecki)</i>	7
Wprowadzenie	
<i>(Bogdan Suchecki)</i>	10
Rozdział 1. Modele regresji przestrzennej zmiennych ukrytych i ograniczonych	
<i>(Bogdan Suchecki)</i>	21
1.1. Definicje, klasyfikacja i budowa modeli zmiennych ukrytych i ograniczonych	21
1.2. Efekty przestrzenne w modelach dla zmiennych ukrytych i ograniczonych	28
1.3. Rodzaje i przykłady modeli zmiennych ukrytych i ograniczonych z interakcjami przestrzennymi	32
1.3.1. Modele dwumianowe z efektami przestrzennymi	33
1.3.2. Modele wielomianowe z interakcjami przestrzennymi	39
1.3.3. Przestrzenne modele tobitowe	46
1.4. Problemy estymacji i testowania przestrzennych modeli zmiennych ukrytych i ograniczonych	48
Rozdział 2. Wielowymiarowe autoregresyjne modele przestrzenne	
<i>(Alicja Olejnik)</i>	56
2.1. Ocena struktury zależności przestrzennych	56
2.2. Wielowymiarowa macierz wag przestrzennych	58
2.3. Aspekty metodologiczne wielowymiarowego modelu przestrzennego	63
2.3.1. Ogólny model WAMP	63
2.3.2. Estymacja modelu WAMP	64
2.3.3. Przykład empiryczny	65
2.4. Zastosowanie modelu WAMP do oceny produktywności w UE	68
2.4.1. Charakterystyka danych statystycznych	68
2.4.2. Konstrukcja i wyniki weryfikacji empirycznej modelu produktywności regionów Unii Europejskiej	79
Rozdział 3. Przestrzenne modele panelowe	
<i>(Bogdan Suchecki, Elżbieta Antczak)</i>	89
3.1. Budowa i klasyfikacja przestrzennych modeli panelowych	89
3.2. Geneza, rozwój metodologii i zastosowań	100
3.3. Źródła danych i oprogramowanie przestrzennych modeli panelowych	105

Rozdział 4. Estymacja i weryfikacja przestrzennych modeli panelowych	
<i>(Elżbieta Antczak)</i>	109
4.1. Wybrane metody estymacji przestrzennych modeli panelowych	109
4.1.1. Metoda największej wiarygodności	109
4.1.2. Uogólniona metoda momentów	114
4.1.3. Metoda zmiennych instrumentalnych	115
4.2. Weryfikacja przestrzennych modeli panelowych	116
4.2.1. Weryfikacja interakcji przestrzennych i efektów stałych	116
4.2.2. Weryfikacja interakcji przestrzennych i efektów losowych	117
4.3. Specjalne problemy testowania przestrzennych modeli panelowych	130
4.3.1. Testy wyboru modelu	130
4.3.2. Miary dopasowania	133
4.4. Przykłady badań empirycznych	135
4.4.1. Przestrzenny panelowy model popytu na wyroby tytoniowe	135
4.4.2. Przestrzenny model panelowy EKC	141
Rozdział 5. Wielorównaniowe modele regresji przestrzennej	
<i>(Karolina Lewandowska-Gwarda)</i>	148
5.1. Wprowadzenie	148
5.2. Klasyfikacja wielorównaniowych modeli regresji przestrzennej	150
5.3. Wielorównaniowe modele regresji przestrzennej o równaniach pozornie niezależnych	153
5.3.1. Model SUR z autoregresją przestrzenną	157
5.3.2. Model SUR z autokorelacją przestrzenną składników losowych	160
5.4. Przestrzenne modele wektorowo-autoregresyjne	164
5.5. Przestrzenne modele z wektorową korektą błędem	169
5.6. Wielorównaniowe modele regresji przestrzennej o równaniach łącznie współzależnych	172
5.6.1. Model o równaniach łącznie współzależnych z autoregresją przestrzenną	172
5.6.2. Model o równaniach łącznie współzależnych z autokorelacją przestrzenną składników losowych	175
5.7. Testowanie autokorelacji przestrzennej w modelach wielorównaniowych	177
Rozdział 6. Zastosowania wielorównaniowych modeli regresji przestrzennej	
<i>(Karolina Lewandowska-Gwarda)</i>	181
6.1. Wprowadzenie	181
6.2. Zastosowanie modelu SpVAR w analizie cen nieruchomości na rynku mieszkaniowym	184
6.3. Analiza wypadków samochodowych w Chinach – zastosowania modeli SUR z autokorelacją czasową i przestrzenną	188
6.4. Analiza rozwoju lokalnego w USA – zastosowania wielorównaniowego modelu regresji przestrzennej o równaniach łącznie współzależnych	192
6.5. Zastosowanie przestrzennego modelu SUR w analizie stopy bezrobocia w Polsce w latach 2006–2009	198
Zakończenie	
<i>(Bogdan Suchecki)</i>	206
Bibliografia	212
Indeks rzeczowy	225

Wstęp

Książka jest kontynuacją wydanej w 2010 r. monografii pt. *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*. Zawiera prezentacje i przykłady zastosowań współczesnych zaawansowanych metod i modeli ekonometrycznych stosowanych do analiz i prognozowania zjawisk ekonomicznych na podstawie zlokalizowanych danych ukrytych i ograniczonych oraz przestrzenno-czasowych (panelowych i wielowymiarowych). Szczególny nacisk położono na opisanie technik budowy modeli oraz zaprezentowanie kierunków najnowszych badań z tego zakresu. Jednocześnie książka ma walor praktyczny ze względu na prezentacje przykładów zastosowań proponowanych metod, które są wynikiem własnych analiz bądź zostały zaczerpnięte z literatury światowej.

Prezentowane po raz pierwszy w Polsce w tak szerokim zakresie nowoczesne metody i modele ekonometrii przestrzennej mają dużą wartość zarówno z poznawczo-naukowego punktu widzenia, jak i dla zastosowań praktycznych, dając ekonomistom możliwość powiększenia zbioru stosowanych narzędzi badawczych w analizach ekonomicznych potrzebnych odpowiednim instytucjom szczebla centralnego i lokalnego w zakresie decyzji i polityki ekonomiczno-społecznej.

Istotnymi częściami opracowania są zarówno szczegółowe prezentacje modeli i zaawansowanych metod estymacji oraz weryfikacji ekonometrycznych modeli przestrzennych, jak i przykłady empiryczne, odniesione do omawianych zagadnień oraz liczne rekomendacje programów ekonometrycznych (Matlab, R Cran, Stata, Soritec) niezbędne do samodzielnej pracy.

Ze względu na charakter podręcznikowy publikacja będzie z pewnością pomocna w unowocześnieniu programów nauczania w szkołach wyższych na wszystkich kierunkach ekonomicznych i zarządzania, a w szczególności na Gospodarce Przestrzennej, Informatyce i Ekonometrii, Ekonomii, Logistyce oraz na Zarządzaniu.

Książka składa się z wprowadzenia, 6 rozdziałów, zakończenia i bibliografii (literatury cytowanej).

We wprowadzeniu do problematyki zaawansowanego modelowania na podstawie danych przestrzennych i przestrzenno-czasowych zaprezentowano zarys historyczny, w którym scharakteryzowano trzy główne etapy rozwoju ekonometrii przestrzennej: 1) tworzenie warunków wzrostu, 2) droga w górę (wzrost), 3) dojrzałość, oraz wyróżniono współczesne kierunki i problemy badawcze o znaczeniu przyszłościowym.

W rozdziale pierwszym (*Modele regresji przestrzennej zmiennych ukrytych i ograniczonych*) zaprezentowano przegląd różnych możliwości uwzględnienia interakcji przestrzennych w modelowaniu zmiennych ukrytych i ograniczonych oraz omówiono problemy konstrukcji oraz zagadnienia związane z estymacją i testowaniem takich modeli. W szczególności została zaprezentowana koncepcja bazowego modelu przestrzennego użyteczności stochastycznych, jako punkt wyjścia specyfikacji dwumianowych i wielomianowych modeli dla zmiennej zależnej ukrytej w kontekście występowania autoregresji i autokorelacji przestrzennej, oraz przykłady empiryczne z tego zakresu.

W końcowej części rozdziału omawiana jest najpierw modyfikacja testów Morana I oraz LM , które umożliwiają identyfikację interakcji przestrzennych w modelach dla zmiennych ukrytych i ograniczonych, a następnie problemy estymacji takich modeli ze szczególnym uwzględnieniem najnowszych zastosowań uproszczonej metody największej wiarygodności (*Pseudo Maximum Likelihood Method*) oraz uogólniona metoda momentów UMM (GMM). Modele przestrzenne dla zmiennych jakościowych – ukrytych i ograniczonych – znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach ekonomii, ekologii czy też geografii. Prezentowane w rozdziale przykłady zastosowań tych modeli pokazują ich szerokie możliwości aplikacyjne.

W rozdziale drugim (*Wielowymiarowe autoregresyjne modele przestrzenne*) po omówieniu możliwości oceny struktury zależności przestrzennych w analizach ekonomicznych prezentowana jest idea i propozycje zastosowań wielowymiarowej macierzy wag przestrzennych umożliwiające rozwiązanie problemu dysproporcji ekonomicznych przez macierze kierunkowe. Prezentowane są tutaj analizy i wyniki empiryczne estymacji wielowymiarowego autoregresyjnego modelu przestrzennego WAMP w ocenie procesu regionalnej konwergencji PKB wewnątrz UE25 z uwzględnieniem ekonomicznej anizotropii.

W rozdziale trzecim (*Przestrzenne modele panelowe*), na tle klasyfikacji standardowych modeli panelowych, zaprezentowano problemy budowy modeli na danych przestrzenno-czasowych z interakcjami przestrzennymi. W szczególności pokazano konstrukcję rozszerzonej dla próby panelowej macierzy wag przestrzennych oraz sposoby uwzględniania równoczesnego w różnych kombinacjach efektów stałych (FE), autoregresji przestrzennej (AR), autokorelacji przestrzennej składnika losowego (SE) i efektów losowych (RE), dokonując szczegółowego przeglądu wielu propozycji modelowych.

Wyróżniono tutaj warianty podstawowe modeli panelowych z efektami przestrzennymi (SAR-FEM, SE-FEM, SMA-FEM, SAR-REM, SE-REM itd.), modele mieszane (SD-FEM, SD-REM), wektorowo-autoregresyjne przestrzenne modele panelowe (VAR-SAR-FEM, VAR-SAR-REM) oraz przestrzenne, dynamiczne modele panelowe. W drugiej części tego rozdziału omówiono genezę, rozwój metodologii i zastosowań tej klasy modeli, a w ostatnim punkcie rekomendowane są źródła przestrzenno-czasowych danych statystycznych, zarówno typu mikro-, jak

i makroekonomicznych oraz możliwości uzyskania odpowiedniego oprogramowania niezbędnego do estymacji modeli panelowych z efektami przestrzennymi.

W rozdziale czwartym (*Estymacja i weryfikacja przestrzennych modeli panelowych*) prezentowane są wybrane, najczęściej stosowane metody estymacji modeli panelowych z interakcjami przestrzennymi, tzn. procedury oparte na metodzie największej wiarygodności, uogólniona metoda momentów oraz metoda zmiennych instrumentalnych.

Drugą, obszerną część rozdziału zajęły prezentacje i omówienia stosowalności specjalnie opracowanych testów statystycznych do weryfikacji różnych wariantów tej klasy modeli z uwzględnieniem testów wyboru modelu oraz alternatywnych miar jakości dopasowania modelu do danych przestrzenno-czasowych.

Końcowa część rozdziału czwartego zawiera dwa przykłady badań empirycznych z zastosowaniem przestrzennych modeli panelowych. Pierwszy przykład dotyczy modelowania popytu na wyroby tytoniowe w USA, a w drugim prezentowane i szczegółowo omawiane są rezultaty analiz realizacji założeń ekorozwoju w wybranych krajach Europy w latach 1990–2006 na podstawie środowiskowej krzywej Kuzneta (EKC) i z wykorzystaniem modeli panelowych z autoregresją przestrzenną.

Dwa ostatnie rozdziały (5 i 6) książki prezentują problemy budowy, estymacji, weryfikacji i zastosowań modeli wielorównaniowych z interakcjami przestrzennymi (wielorównaniowych modeli ekonometrii przestrzennej).

W rozdziale piątym (*Wielorównaniowe modele regresji przestrzennej*) punktem wyjścia przeglądu są modele z interakcjami przestrzennymi o równaniach pozornie niezależnych (SUR) z autoregresją przestrzenną i z autokorelacją przestrzenną składnika losowego. W kolejnych punktach tego rozdziału pokazane są ich współczesne modyfikacje, np. układy równań wektorowo-autoregresyjnych SpVAR (*Spatial Vector Autoregressive*) i przestrzennych modeli z wektorową korektą błędem SpVECM (*Spatial Vector Error Correction Model*). W ostatniej części tego rozdziału zostały omówione modele regresji przestrzennej o równaniach łącznie współzależnych.

W rozdziale szóstym (*Zastosowania wielorównaniowych modeli regresji przestrzennej*), po przeglądzie wybranych pozycji literatury światowej z zakresu zastosowań wielorównaniowych modeli ekonometrii przestrzennej, przedstawione są trzy interesujące, zagraniczne aplikacje proponowanych modeli: przestrzenny model VAR (SpVAR) opisujący kształtowanie się cen nieruchomości na rynku mieszkaniowym w Stanach Zjednoczonych, model SUR z efektami przestrzennymi zbudowany w celu analizy stopy wypadków samochodowych w Chinach oraz wielorównaniowy model regresji przestrzennej o równaniach łącznie współzależnych opisujący poziom rozwoju lokalnego w Stanach Zjednoczonych. W ostatniej części rozdziału zaprezentowano natomiast własne badanie empiryczne z zastosowaniem wielorównaniowego modelu regresji przestrzennej w analizie poziomu stopy bezrobocia w Polsce.

Wprowadzenie

Kryzysy gospodarcze stwarzają bodźce do powstawania i upowszechniania się nowych teorii i metod analiz ekonomicznych. Ekonomiści i ekonometrycy poszukują więc takich modeli, które mogą lepiej opisywać i diagnozować zmieniające się uwarunkowania gospodarcze, społeczne i polityczne z uwzględnieniem nowych sposobów działania, produktów i rodzajów aktywności ekonomicznej.

Już w latach trzydziestych ubiegłego wieku, kiedy w odpowiedzi na kryzys 1929–1933 J.M. Keynes i A.C. Pigou¹ tworzyli i publikowali nowe koncepcje teoretyczne w celu wyjaśnienia mechanizmów funkcjonowania gospodarki, pojawiła się ekonometria jako dziedzina nauki² oraz modele ekonometryczne jako narzędzia analiz i prognoz ekonomicznych [Tinbergen, 1936, 1939].

Na osi czasu prezentowanej na rysunku 1 zaznaczono kolejne etapy rozwoju modeli, metod i zastosowań szeroko rozumianej ekonometrii w badaniach ekonomicznych i społecznych.

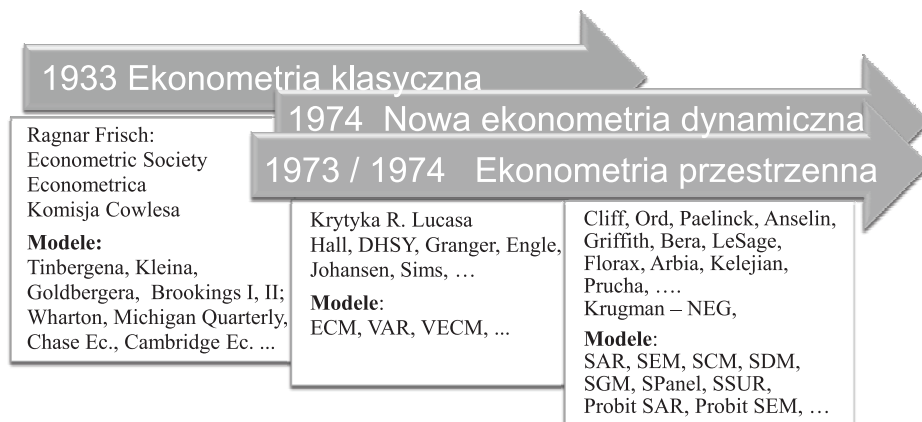
Po przeszło trzydziestoletnim okresie rozwoju „klasycznej” metodologii badań ekonometrycznych wspieranych fundamentalnymi pracami klasyków ekonometrii w Komisji Cowlesa pojawiły się nowe koncepcje i metody. Była to reakcja na generowanie błędnych prognoz ekonomicznych przez wielkie i kosztowne makromodele.

Od końca lat siedemdziesiątych XX w. jesteśmy więc uczestnikami drugiego etapu rozwoju ekonometrii.

Za prekursorów nowych kierunków w teorii i praktyce ekonometrii uważa się R.E. Lucasa [1976], R.E. Halla [1978] oraz czterech autorów oznaczanych często skrótem DHSY, czyli J.E.H. Davidsona, D.F. Hendry’ego, F. Srbę i S. Yeo [1978]. Odpowiednie praktyczne metody badawcze (testowanie niestacjonarności ekonomicznych szeregów czasowych, analiza kointegracji zmiennych w modelach ekonometrycznych) zostały później opracowane przez R.F. Engle’a i C.W.J. Grangera [1987] oraz przez S. Johansena i K. Juselius [1990].

¹ A.C. Pigou studiował w Cambridge w tym samym okresie co Keynes. W swoich koncepcjach i pracach zwracał uwagę na psychologię ekonomiczną i jej wpływ na cykle biznesowe. Ekonomiczne fluktuacje przypisywał przyczynom psychologicznym: zmiennym nastrojom ludzi oraz błędowi niesłusznego optymizmu i niesłusznego pesymizmu w prognozach biznesowych. Pierwszy zastosował pomiar i skalę nierówności ekonomicznych.

² Nazwę „ekonometria” zaproponował Ragnar Frisch, dyrektor Instytutu Ekonomicznego w Oslo, współtwórca międzynarodowego towarzystwa Econometric Society, w latach 1933–1955 wydawca i redaktor naczelny czasopisma „Econometrica”.



Rysunek 1. Etapy rozwoju ekonometrii

Źródło: opracowanie własne.

Postęp w zastosowaniach teorii dynamicznych i „międzyokresowych” związany był także z koncepcjami rozwiniętymi w fundamentalnej pracy R.E. Halla [1978], którego zasługą jest zbudowanie podstawy współczesnej, nowej teorii racjonalnych oczekiwań³.

Obecnie należy jednak zwrócić uwagę na szereg okoliczności, które dają podstawy do sformułowania tezy, iż ekonometria znalazła się w okresie przejścia do trzeciego etapu swojego rozwoju. Ponownie światowy kryzys, który rozpoczął się w 2008 r., ukazał szereg niedostatków stosowanej dotąd metodologii modelowania i prognozowania ekonomicznego. Nie jest to jednak tylko wewnętrzny problem ekonometrii stosowanej, lecz całego obowiązującego dotąd paradygmatu teorii i istoty gospodarki kapitalistycznej.

Profesor Amartya Sen [2009] twierdzi, iż obecny kryzys gospodarczy jest w znacznej mierze skutkiem ogromnego przeceniania mądrości procesów rynkowych. Kryzys pogłębia się wskutek lęku i braku zaufania do rynków finansowych i wszelkiego biznesu. Problemy te dostrzegał już w XVIII wieku Adam Smith⁴, a nie dostrzegli obecni decydenci („ekonomiści zapomnieli o zasadach ekonomii” [Gadomski, 4–5 kwietnia 2009, s.33]). Okazało się, iż te zapomniane nauki nic nie straciły na aktualności.

W roku 2008 Nagrodę Nobla w dziedzinie ekonomii otrzymał Paul R. Krugman, którego prace były związane ściśle z „proroczymi intuicjami” Smitha w zakresie analizy mechanizmów handlu zagranicznego oraz problemami lokali-

³ R.E. Hall zaadaptował podejście racjonalnych oczekiwań do zakładanego procesu efektywnej informacji konsumentów przez analizowanie ich zachowania [Suchecki, 2006, s. 69–70].

⁴ Już w 1776 r. Smith pokazał, jak oswobodzenie handlu w skali globalnej może przyczynić się do generowania bogactwa przez specjalizację produkcji, podział pracy i wykorzystania w wielkiej skali działalności gospodarczej.

zacji i koncentracji przestrzennej działalności ekonomicznej, a który uważany jest za twórcę Nowej Ekonomii Geograficznej.

Zauważmy jednak, iż w ostatnich kilkunastu latach, oprócz NEG pojawiło się także wiele innych „nowych” koncepcji teoretyczno-ekonomicznych. Oprócz próby definiowania ogólnego pojęcia „nowej ekonomii” [Adams, 2004], warto więc zwrócić uwagę na: nową teorię wzrostu i nową teorię wzrostu endogenicznego (NGT – *New Growth Theory*, NEG – *New Endogenous Growth Theory*), nową teorię handlu (NTT – *New Trade Theory*) oraz na tzw. ekonomię niepewności (IKE – *Imperfect Knowledge Economics*), w której Frydman, a wcześniej Phelps, kwestionują teorię racjonalnych oczekiwań i oparte na niej obowiązujące modele tworzenia prognoz ekonomicznych⁵.

Poszukując odpowiednich, alternatywnych narzędzi współczesnych, ilościowych badań ekonomicznych, w niniejszym opracowaniu proponujemy dokonanie ogólnego przeglądu aktualnego stanu i możliwości modeli ekonometrii przestrzennej. Oprócz różnych wcześniejszych zastosowań (ekonomicznych i pozaekonomicznych) modele regresji przestrzennej stały się obecnie uznanymi narzędziami badań ekonomicznych, a w tym weryfikacji hipotez formułowanych w ramach NEG – Nowej Ekonomii Geograficznej.

Wzrastające zainteresowanie ekonometrią przestrzenną (ponad ośmiokrotny wzrost liczby publikacji w kilkunastu czasopismach wydawnictw Elsevier i Springer w latach 1995–2011) w pełni uzasadnia potrzebę próby popularyzacji również zaawansowanych modeli ekonometrii przestrzennej w środowisku polskich ekonomistów i ekonometryków.

Pierwsze badania z zakresu statystyki i ekonometrii przestrzennej datowane są na wczesne lata pięćdziesiąte XX wieku (prace i publikacje Morana, Geary’ego, Whittle’a). Niemniej jednak oficjalnie za początek nowej, odrębnej dziedziny wiedzy – **ekonometrii przestrzennej** – uznaje się lata siedemdziesiąte XX wieku.

Licząc od ukazania się w 1979 r. pierwszej książki pt. *Spatial Econometrics* [Paelinck, Klaassen, 1979, wyd. polskie: *Ekonometria przestrzenna*, 1983], w roku 2009 L. Anselin obliczył trzydziestą rocznicę – *Thirty Years of Spatial Econometrics*. Z jego zestawienia najbardziej znaczących publikacji początkowej fazy rozwoju (por. rys. 2) wynika jednak, iż w przyszłym roku ekonometria przestrzenna będzie miała czterdzieści lat⁶: 1973–2013.

Jak już wcześniej opisywaliśmy [Suchecki (red.) i in., 2010], początkowo metody ekonometrii przestrzennej wykorzystywane były jedynie w badaniach

⁵ Ekonomia niedoskonałej wiedzy (IKE) uwzględnia m.in. doświadczenie i kontekst kulturowy oraz zakłada, że skoro nie jesteśmy w stanie precyzyjnie zrozumieć i opisać zmiennych mechanizmów wyobrażania sobie przyszłości przez ludzi, nie możemy też stworzyć jednego uniwersalnego i perfekcyjnego modelu ekonomicznego przewidującego zmiany gospodarcze [Frydman, Goldberg, 2007; Phelps, Frydman, 1983].

⁶ Biorąc natomiast pod uwagę słynne posiedzenie Holenderskiego Towarzystwa Statystycznego w maju 1974 r. w Tilburgu, na którym Jean H.P. Paelinck wprowadził do obiegu naukowego pojęcie ekonometrii przestrzennej jako nowej gałęzi wiedzy, to czterdziestolecie można też świętować w roku 2014.

regionalnych, w analizach rynku nieruchomości oraz w geografii ekonomicznej. Jednakże od lat dziewięćdziesiątych XX w. przestrzeń zaczęła odgrywać bardzo ważną rolę w teorii ekonomii oraz w nowej ekonomii geograficznej.

W związku z tym w referacie na trzydziestolecie Anselin [2009] zmienił przyjętą wcześniej [1988] definicję. Obecnie przyjmuje, iż ekonometria przestrzenna stanowi:

„... *podzbiór metod ekonometrycznych dotyczących aspektów przestrzennych obecnych w obserwacjach przekrojowych i przestrzenno-czasowych. Zmienne odnoszące się do lokalizacji, odległości i rozmieszczenia (topologii) są wyraźnie uwzględniane w specyfikacji modeli, estymacji, testowaniu oraz predykcji*”⁷.

W rozwoju metod, modeli i zastosowań ekonometrii przestrzennej od nielicznych zastosowań w badaniach regionalnych, aż do obecności w głównym nurcie badań ekonomicznych i społecznych, można wyróżnić trzy etapy [Anselin, 2009, s. 9]:

Etap I – tworzenie warunków wzrostu,

Etap II – droga w górę (wzrost),

Etap III – dojrzałość.

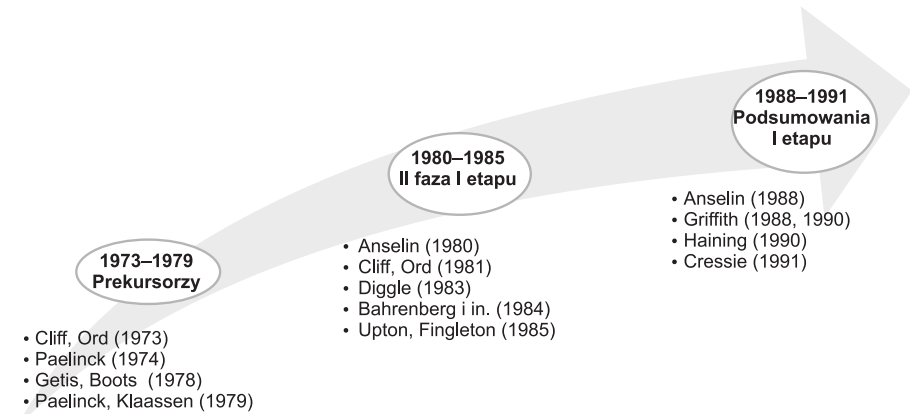
Etap I (*Precondition for Growth*) to okres około 18–20 lat, czyli lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte XX w. (np. od roku 1973 do początku lat dziewięćdziesiątych). W ramach etapu pierwszego można wyróżnić okres prekursorski, kiedy ukazały się fundamentalne prace podsumowujące istniejące możliwości metodologiczne w zakresie analizy danych przestrzennych: Cliffa i Orda [1973], Getisa i Bootsa [1978], Benneta i in. [1979], oraz kiedy Pealinck proponował nazwę [1974] i wydał z Klaassenem pierwszą książkę pt. *Spatial Econometrics* [1979].

W tym podokresie publikowano już zastosowania testu Morana *I* do analizy autokorelacji przestrzennej oraz począwszy od pracy J.K. Orda [1975] zastosowania metody największej wiarygodności do estymacji parametrów modeli regresji przestrzennej. W roku 1979 należy również zauważyć prekursorską pracę Benneta dotyczącą modelowania na danych przestrzenno-czasowych zawierającą już propozycję specyfikacji przestrzennych modeli wielorównaniowych o równaniach pozornie niezależnych (SUR).

Drugi podokres tworzenia warunków wzrostu przypada na lata 1980–1985, kiedy ukazały się pierwsze prace Anselina dotyczące metod estymacji przestrzennych struktur autoregresyjnych [1980], dalsze badania Cliffa i Orda (1981), prace z zakresu statystyki przestrzennej Ripleya [1981] i Digglą [1983] oraz publikacje podsumowujące ówczesny stan metodologii analiz danych przestrzennych Bahrenberga i in. [1984] oraz Uptona i Fingletona [1985].

W trzecim podokresie pierwszego etapu rozwoju metod i modeli analizy danych przestrzennych (ekonometrii i statystyki przestrzennej), tzn. na przełomie

⁷ Patrz Anselin [2009], s. 3–4: „... *a subset of econometric methods that is concerned with spatial aspect present in cross-sectional and space-time observations. Variables related to location, distance and arrangement (topology) are treated explicitly in model specification, estimation, diagnostic checking and prediction*”.

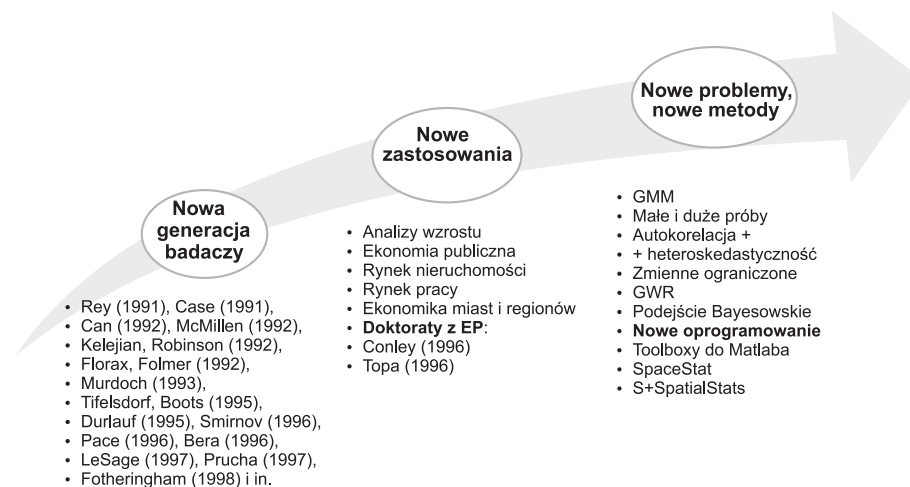


Rysunek 2. Pierwszy etap rozwoju ekonometrii przestrzennej 1973–1991: tworzenie warunków wzrostu

Źródło: opracowanie własne na podstawie referatu Anselina [2009].

lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX w. ukazały się znaczące publikacje podsumowujące piętnastoletni dorobek tych dziedzin wiedzy w postaci znanej książki Anselina [1988], dwóch monografii Griffitha [1988, 1990] oraz prac Haininga [1990] i Cressiego [1991].

Elementy charakterystyki drugiego etapu rozwoju ekonometrii przestrzennej prezentowane są syntetycznie na rysunku 3.



Rysunek 3. Drugi etap rozwoju ekonometrii przestrzennej 1991–2000: droga w górę

Źródło: opracowanie własne na podstawie referatu Anselina [2009].

Należy tutaj zwrócić uwagę na znaczny wzrost liczby badaczy, zwłaszcza młodych absolwentów studiów ekonomicznych i geograficznych (*regional econo-*

mics, regional science, economic and quantitative geography), zainteresowanych teorią i zastosowaniami ekonometrii przestrzennej (np. Can, Florax, Rey, Smirnov, Tiefelsdorf).

Oprócz krajów europejskich, gdzie dominowała dotychczas tzw. „szkoła holenderska” (*Dutch School*, Paelinck, Klaassen, Nijkamp, Ritveld, Getis, Boots), ekonometria przestrzenna stała się bardziej znana również wśród ekonomistów amerykańskich podejmujących próby aplikacji modeli regresji przestrzennej w wielu dziedzinach (Case, Murdoch, McMillen, Pace, Thibodeau). Przykłady zastosowań modeli regresji przestrzennej pojawiły się również w badaniach socjologicznych [Land, Deane, 1992].

Ważnym impulsem rozwoju było zainteresowanie i prace ekonometryków amerykańskich (Bera, LeSage, Durlauf, Pinkse, Slade, Kelejian, Prucha). Efektem tego zainteresowania były dwie pierwsze prace doktorskie z zakresu ekonometrii przestrzennej na uniwersytecie w Chicago (Conley, Topa).

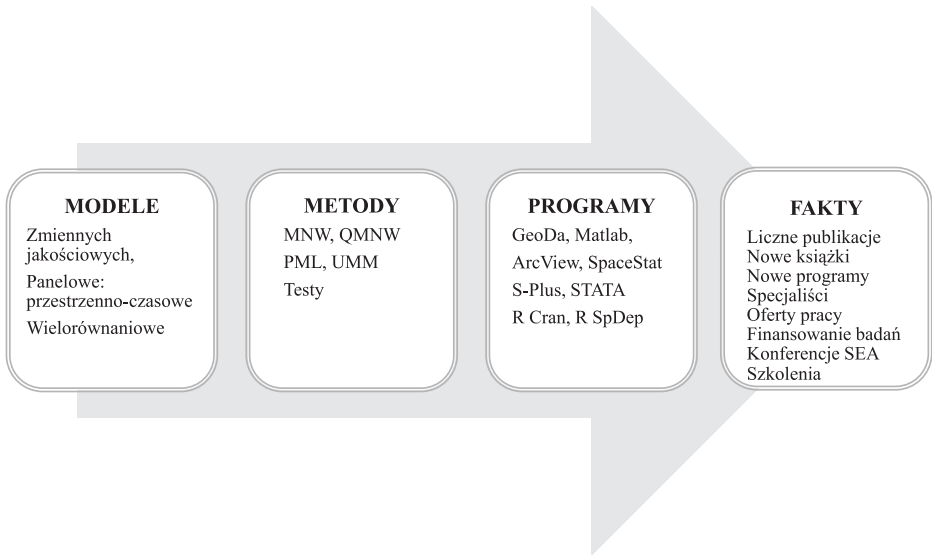
W latach dziewięćdziesiątych XX w. ukazały się znaczące prace metodologiczne, a w szczególności propozycje zastosowań uogólnionej metody momentów do estymacji modeli przestrzennych [Kelejian, Prucha, 1998; Conley, 1999]. Wykorzystując techniczne możliwości replikacji danych, badano własności różnych estymatorów dla małych prób w porównaniu z danymi rzeczywistymi [Anselin, Florax, 1995b; Kelejian, Robinson, 1998].

Po ukazaniu się coraz liczniejszych publikacji po roku 1995 nastąpił dalszy postęp w specyfikacji, estymacji i testowaniu modeli przestrzennych (modele z dekompozycją przestrzenną składników losowych [Kelejian, Robinson, 1995], modyfikacja statystyki Morana I, jednoczesne uwzględnianie heteroskedastyczności i autokorelacji przestrzennej [Kelejian, Robinson, 1992, 1998], zastosowanie podwójnej MNK [Anselin, Kelejian, 1997]. Pojawiły się również pierwsze propozycje konstrukcji i zastosowań modeli przestrzennych dla zmiennych jakościowych i ograniczonych (przestrzenny model probitowy [Case, 1992; McMillen, 1992, 1995; Brock, Durlauf, 1995; Pinkse, Slade, 1998]).

Istotnym osiągnięciem drugiego etapu była ponadto koncepcja A.S. Fotheringhama [1997] GWR – geograficznie ważonej regresji umożliwiająca analizę zmienności parametrów modelu regresji w różnych lokalizacjach na analizowanym obszarze.

Na uwagę w dokonaniach tego etapu zasługują również próby zastosowań podejścia Bayesowskiego do estymacji modeli regresji przestrzennej [LeSage, 1997] oraz rozwój oprogramowania komputerowego z zakresu ekonometrii przestrzennej. Oprócz komercyjnego pakietu S+SpatialStats [Kaluzny i in., 1996], dzięki pracom LeSage’a [1999a] oraz Pace’a i Barryego [1998], w Internecie zostały udostępnione procedury programowe w języku Matlab’a (*toolboxes*) do estymacji i weryfikacji ekonometrycznych modeli przestrzennych.

Miarą wzrastającej popularności ekonometrii przestrzennej w środowisku ekonomistów i ekonometryków był znaczący wzrost liczby artykułów w znanych czasopismach (podwojenie w latach 1995–2001) oraz wydawnictw książkowych.



Rysunek 4. Trzeci etap rozwoju ekonometrii przestrzennej: dojrzałość 2001–2012

Źródło: opracowanie własne na podstawie referatu Anselina [2009].

Dołączając do głównego nurtu badań ekonomicznych na przełomie XX i XXI wieku, ekonometria osiągnęła trzeci etap rozwoju. Anselin [2009, s. 15] nazwał ten etap „dojrzałością” (*maturity*). Można to stwierdzić przez:

- rosnącą liczbę artykułów (np. w bazie danych Science Direct: od 180 w roku 2000 do 950 tytułów w roku 2011),
- nowe książki [Anselin, Florax, Rey, 2004; LeSage, Pace, 2004; Getis, Mur, Zoller, 2004; Arbia, Baltagi, 2009], podręczniki [Arbia, 2006; LeSage, Pace, 2009],
- zainteresowanie i publikacje znanych specjalistów – ekonometryków [Andrews, 2005; Baltagi, Li, 2001; Lee, 2002; Pesaran, 2006; Robinson, 2008],
- rozdziały w nowych wydaniach podręczników ekonometrii,
- nowe programy i możliwości obliczeniowe w komercyjnych i niekomercyjnych pakietach komputerowych (statystyczno-ekonometrycznych),
- oferty pracy i finansowanie badań.

Możliwości te zwiększyły się dodatkowo po utworzeniu Towarzystwa Ekonometrii Przestrzennej SEA (*Spatial Econometrics Association*), które organizuje coroczne konferencje międzynarodowe i kongresy światowe⁸.

W przypadku metod analizy danych przestrzennych można w szczególności zauważyć powszechną akceptację zastosowań w zakresie: statystyki przestrzennej [Haining, 2003; Banerjee i in., 2004; Schabenberger, Gotway, 2005], geostatystyki i analizy danych punktowych w badaniach epidemiologicznych [Pfeiffer i in.,

⁸ <http://spatialeconometr.altervista.org>; np. kolejna konferencja: VI World Conference July 2012 Salvador, Bahia, Brasil.

2008; Lawson, 2009], zdrowia publicznego [Waller, Gotway, 2004], w ekologii i ochronie środowiska [Fortin, Dale, 2005] oraz kryminalistyki⁹.

W przypadku analiz ekonometrycznych obserwujemy znaczące postępy w różnych obszarach budowy, estymacji i testowania modeli na danych przestrzennych i przestrzenno-czasowych. Do najbardziej zaawansowanych należą rezultaty badań nad asymptotycznymi własnościami estymatorów metody największej wiarygodności (MNW) i uogólnionej metody momentów (UMM)¹⁰.

Również znaczące są uogólnienia estymatorów UMM w modelowaniu uwzględniającym zarówno interakcje przestrzenne, jak i heteroskedastyczność [Kelejian, Prucha, 2007a; Arraiz i in., 2010], a także problemy podejścia zgodnej autokorelacji i heteroskedastyczności HAC (*Heteroscedastic and Autocorrelation Consistent*) opartego na estymacji jądrowej [Kelejian, Prucha, 2007a]. Jenish i Prucha [2009] dostarczyli zbiór centralnych twierdzeń granicznych opartych na prawie wielkich liczb, które tworzą podstawy dla wielu formalnych rezultatów.

Zainteresowanie skupiło się na specyfikacji modeli innych niż znane postaci autoregresji zmiennej zależnej i autokorelacji przestrzennej składnika losowego, takich na przykład jak w ogólnym podejściu do analizy efektów zewnętrznych [Anselin, 2003]. Proponowane są specyfikacje z założeniem postaci średniej ruchomej składników losowych [Fingleton, 2008a, 2008b] oraz nowe schematy zależności macierzy wariancji-kowariancji składników losowych [LeSage, Pace, 2007].

Ze względu na rosnące zainteresowanie w trzecim etapie rozwoju ekonometrii przestrzennej należy wyróżnić trzy grupy modeli:

- 1) modele regresji przestrzennej dla zmiennych ukrytych i ograniczonych,
- 2) jednorównaniowe przestrzenne modele panelowe (dla danych przestrzenno-czasowych),
- 3) wielorównaniowe modele proste, rekurencyjne i o równaniach łącznie współzależnych dla danych przestrzennych i przestrzenno-czasowych¹¹,
- 4) modele regresji przestrzennej dla danych w postaci strumieni¹².

W niniejszej pracy prezentowane i analizowane są trzy pierwsze grupy modeli.

Modele regresji przestrzennej dla zmiennych ukrytych i ograniczonych (np.: *spatial probit*, *spatial logit*, *spatial tobit* i in.) są proponowane już od kilkun-

⁹ Podstawowe metody z tego zakresu prezentowane są w tomie I [Suchecki (red.) i in., 2010, s.70–128].

¹⁰ Na przykład dowód asymptotycznego rozkładu estymatora MNW i *quasi*-estymator QMNW [Lee, 2004] oraz wyprowadzenie optymalnych estymatorów UMM [Lee, 2003, 2007; Das i in., 2003; Kelejian i in., 2004].

¹¹ Specyfikacje modeli wielorównaniowych o równaniach łącznie współzależnych z uwzględnieniem przestrzennej korelacji zmiennych endogenicznych proponowane były w pracach Kelejina i Pruchy [2004], Reya i Boarneta [2004], Fingletona i Le Gallo [2008] oraz Anselina i Lozano-Gracia [2008].

¹² Problemy specyfikacji i estymacji modelowania przepływów różnych elementów i produktów aktywności ekonomicznej od lokalizacji nadawcy do lokalizacji odbiorcy, z uwzględnieniem korelacji przestrzennych, są analizowane w pracach: [LeSage, Pace, 2008; Fischer, Griffith, 2008; LeSage, Polasek, 2008; Chun, 2008; Griffith, 2009] i in.

stu lat. Zainteresowanie tymi modelami wzrosło jednak po roku 2001 [Kelejian, Prucha, 2001; LeSage, 2002; Beron, Murdoch, Vijverberg, 2003]. Szczególnie wzrasta zainteresowanie możliwościami ich zastosowań w badaniach empirycznych [Holloway i in., 2002; Murdoch i in., 2003].

Przestrzenne modele panelowe są aktualnie rozwijane zarówno w pracach teoretycznych, jak i w zastosowaniach praktycznych. Proponowane są odpowiednie strategie specyfikacji i estymacji takich modeli z zastosowaniem zarówno MNW, jak i UMM [Elhorst, 2001, 2003; Kapoor, Keljian, Prucha, 2007; Fingleton 2008b; Lee, Yu, 2010a], a także rozwijane są liczne testy specyfikacji dotyczące efektów przestrzennych, efektów losowych i ogólnych zależności (interakcji) przestrzennych [Baltagi i in., 2003, 2007; Kapetanios, Pesaran, 2007; Pesaran, Ullah, Yamagata, 2008], a także predykcji na podstawie takich modeli [Baltagi, Li, 2004, 2006].

Charakteryzując ekonometrię przestrzenną w trzecim etapie rozwoju, należy ponadto zwrócić uwagę na dużą aktywność badaczy w zakresie konstrukcji i modyfikacji testów dotyczących specyfikacji równań oraz istotności estymowanych parametrów modeli przestrzennych. Nadal rozwijane są testy oparte na mnożniku Lagrange'a w celu wykrycia różnych przyczyn nieprawidłowej specyfikacji oraz wyboru niewłaściwej postaci analitycznej [Baltagi, Li, 2001b], różnych typów autokorelacji składników losowych [Anselin, 2006; Anselin, Moreno, 2003], różnych strategii wyboru modelu [Mur, Angulo, 2006, 2009] oraz testowania hipotez niezagnieżdżonych [Kelejian, 2008].

Analizowane są również metody filtracji jako podejście umożliwiające usunięcie autokorelacji przestrzennej ze zmiennych w niektórych konstrukcjach modelowych, np. dla zmiennych licznikowych [Getis, Griffith, 2002; Griffith 2003; Griffith, Peres-Neto, 2006; Tiefelsdorf, Griffith, 2007].

Ważną cechą charakterystyczną aktualnego etapu rozwoju ekonometrii przestrzennej jest dostęp do specjalistycznego oprogramowania. Opracowane zostały nowe procedury w pakietach programowych umożliwiające estymację MNW modeli przestrzennych w przypadku dużych prób [Smirnov, Anselin, 2001, 2009; Smirnov, 2005; Pace, LeSage, 2004, 2009]. Zaawansowane techniki ekonometrii przestrzennej są obecnie dostępne zarówno w programach komercyjnych (STATA, ArcView, Matlab, SpaceStat, S-Plus), jak i na zasadach *open source* w postaci gotowych procedur i funkcji napisanych w językach R (R CRAN) i Matlab [Rey, Anselin, 2006, 2007; Bivand, 2006; Bivand i in., 2008; Rey, 2009] oraz oczywiście słynny pakiet GeoDa.

W zakresie rozwoju możliwości obliczeniowych, w trzecim etapie na szczególną uwagę zasługują następujące fakty:

1. Istnieje ciągle zainteresowanie pakietem GeoDa opracowanym i udostępnianym bezpłatnie przez Anselina od 2003 r.¹³ Program ten umożliwia w zakresie podstawowym wizualizację, analizę eksploracyjną oraz regresję na danych

¹³ Anselin podaje liczbę 45000 pobrań do września 2009 r.

przestrzennych i stał się już standardem w nauczaniu podstaw ekonometrii przestrzennej¹⁴.

2. Niewątpliwy sukces odniosły toolboxy (*Spatial Econometric Toolboxes*) opracowane przez LeSage'a, Pace'a, Elhorsta i innych, które ułatwiają estymację modeli przestrzennych i przestrzenno-czasowych [LeSage, Pace, 2009].
3. Rośnie liczba zwolenników korzystania z języka R również w zakresie modeli ekonometrii przestrzennej. Szczególne zasługi ma tutaj R. Bivand, który opracował moduł SpDEP zawierający obszerny zbiór procedur do analiz z zakresu ekonometrii przestrzennej. Również inni badacze dokładają tutaj nowe pakiety [Bivand, Pebesma, Gomez-Rubio, 2008].
4. W przypadku pakietów komercyjnych należy odnotować dołączenie procedur z zakresu analiz przestrzennych, w tym autokorelacji i regresji przestrzennej do oprogramowania ArcGIS (od wersji 9.2) [Mitchell, 2005; Allen, 2009].

W kolejnych latach aktualnego okresu dojrzałości należy oczekiwać postępu w badaniach dotyczących pewnych, dotąd jeszcze nierozwiązanych, zagadnień. Anselin [2009] zwrócił uwagę na trzy grupy problemów przyszłościowych.

W pierwszej kolejności jest to zagadnienie zrozumienia sposobu działania interakcji przestrzennych i przestrzenno-czasowych. Odkrywając istotność zależności (autokorelacji) przestrzennych przy jednoczesnym istnieniu heterogeniczności przestrzennej, wiemy o istnieniu tych zjawisk, ale nie potrafimy ich wyjaśnić. Dobrze byłoby mieć możliwość objaśnienia (zendogenizowania) struktur interakcji i heterogeniczności przestrzennych. Do tej pory niewiele było propozycji endogenizacji elementów macierzy wag przestrzennych do określenia, kto i jak oddziałuje oraz jak te interakcje wpływają na resztę modelu. Ciągłe jest potrzebny postęp w tym zakresie w celu powiązania sieci interakcji społecznych (*social networks*) z ich przestrzennym odwzorowaniem.

Druga grupa problemów wynika z potrzeby i możliwości stosowania coraz większych zbiorów danych, np. prób o bardzo dużej liczebności uzyskiwanych z zapisów automatycznych. Systemy czujników zarówno w przyrodzie, jak i w badaniach społecznych dostarczają coraz szerszych strumieni bardzo dokładnych, szczegółowych informacji w skali czasu, przestrzeni, a także w skali indywidualnych podmiotów. Standardowy paradygmat próby pobranej z populacji generalnej, nawet przy założeniach procesu stochastycznego, jest niewystarczający, aby sensownie odpowiedzieć na pytania postawione w analizie tego typu ogromnych zbiorów danych.

Pojęcie równowagi (przestrzennej stacjonarności), na którym opieramy opracowanie i ocenę naszych modeli, prawdopodobnie stanie się nierealne w tym kontekście. Także tradycyjne koncepcje, takie jak „istotność”, mają małe zastosowanie w analizach ogromnych zbiorów danych, ponieważ w takiej zbiorowości wszystko może być „istotne”. W takich sytuacjach powinny być rozwijane in-

¹⁴ W ogłoszeniu w „American Association of Geographers Newsletter”, vol. 44(9), s. 23 o wolnym stanowisku pracy znalazł się już warunek znajomości oprogramowania GeoDA.