

APLIKACJA PRZESTRZENNYCH MODELI PANELOWYCH DO WERYFIKACJI HIPOTEZY ŚRODOWISKOWEJ KRZYWEJ KUZNETSA NA PRZYKŁADZIE POLSKI

1. Wprowadzenie

Konieczność działań na rzecz ochrony środowiska w Polsce wynika, w dużej mierze, z transpozycji lokalnego prawa do wymagań Unii Europejskiej (np. strategia zrównoważonego rozwoju², 6. program działań na rzecz środowiska³), globalnej ekowspółpracy (np. Agenda 21⁴) oraz realizacji założeń krajowych polityk rozwoju (np. *Polityka ekologiczna państwa w latach 2009–2012. Z perspektywą do roku 2016*⁵, *Strategia Rozwoju Kraju 2007–2015*⁶, *Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030*⁷). Ponadto, jedną z płaszczyzn realizowanej w Polsce strategii

¹ Z d. Wiszniewska.

² Rada UE, *Odnowiona strategia UE dotycząca trwałego rozwoju*, Bruksela 2006.

³ <http://ec.europa.eu/environment/newprg/index.htm> [dostęp 25.03.2012].

⁴ www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm [dostęp 1.3.2012].

⁵ Ministerstwo Środowiska, *Polityka ekologiczna państwa w latach 2009–2012. Z perspektywą do roku 2016*, Warszawa 2008.

⁶ Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, *Strategia Rozwoju Kraju 2007–2015*, Warszawa 2006.

⁷ Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, *Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030*, Warszawa 2011.

zrównoważonego rozwoju jest środowisko, a z kolei polityka ochrony klimatu uzyskała na świecie w ostatnich latach najwyższy priorytet. Problemy związane z jakością powietrza nabrały istotnego znaczenia nie tylko dla ochrony środowiska, lecz także dla działalności gospodarczej (liczne konwencje klimatyczne⁸). Niezrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy przekształca i zakłóca zależności w systemie człowiek–gospodarka–środowisko. Zatem warunkiem zapewnienia racjonalnego środowiskowego rozwoju oraz odpowiedniego wykorzystania zasobów naturalnych jest identyfikacja i poznanie wzajemnych wielokierunkowych relacji. Co więcej, zależności ulegają ciągłym zmianom, powodowanym wpływem czasu oraz interakcjami przestrzennymi⁹. Uchwycenie i kwantyfikacja tych interakcji, monitoring zmian poziomu zjawisk w poszczególnych regionach, kontrola efektywności wykorzystania zasobów Ziemi są możliwe m.in. poprzez zastosowanie odpowiednich metod, np. przestrzennych modeli panelowych skonstruowanych w oparciu o hipotezę środowiskowej krzywej Kuzneta (EKC – *Environmental Kuznets Curve*)¹⁰. Celem niniejszej publikacji jest weryfikacja hipotezy EKC na poziomie polskich NUTS2 w latach 1995–2010. Badanie przeprowadzono na podstawie wybranych wskaźników środowiskowych opisujących emisję zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do powietrza jako zmiennych objaśnianych oraz PKB na jednego mieszkańca jako zmiennej objaśniającej (prezentującej poziom rozwoju gospodarczego poszczególnych województw). Postawiono następujące hipotezy badawcze: 1) zależności przestrzenne mają istotny wpływ na jakość powietrza, 2) rozwój gospodarczy województw nie sprzyja poprawie stanu powietrza (realizacja krzywej kubicznej lub odwrotnej do klasycznej EKC), 3) przestrzenne modele panelowe precyzyjniej odzwierciedlają rzeczywiste zależności w systemie człowiek–gospodarka–środowisko niż modele klasyczne. Modele estymowano w pakiecie RCran.

⁸ Na przykład por.: www.ochronaklimatu.com [dostęp 29.03.2012].

⁹ Wzajemne położenie analizowanych obiektów (sąsiedztwo, odległość) wpływa na kształtowanie się interakcji przestrzennych. Zob. W.R. Tobler, *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*, „Economic Geography” 1970, no. 46.

¹⁰ Z uwagi na intensywny rozwój ekonometrii przestrzennej za granicą upowszechnianie wyników analiz oraz dostępność procedur estymacyjnych i pakietów programowych, przestrzenne modele panelowe zyskują coraz większą popularność również w Polsce. Stosowanie tych narzędzi na gruncie nauk ekologicznych, w tym modeli EKC, jest znane i popularyzowane za granicą (np.: J.W. Burnett, J.C. Bergstrom, *U.S. State-Level Carbon Dioxide Emissions: A Spatial-Temporal Econometric Approach of the Environmental Kuznets Curve*, Athens 2010), ale w Polsce dopiero rozpoznawane (por. E. Antczak, *Degradacja powietrza a rozwój gospodarczy w Europie. Modele panelowe z efektami przestrzennymi*, Wydawnictwo UEK w Krakowie, Kraków 2011, s. 167–177).

2. Dobór zmiennych i charakterystyka próby statystycznej

W modelach estymowanych w dalszej części niniejszej publikacji rolę zmiennych objaśnianych pełnią mierniki degradacji powietrza: SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , $PYŁ$ oraz wskaźnik syntetyczny POW – równanie (1). Założono, iż zmienne endogeniczne, w przybliżony sposób, odzwierciedlają stan środowiska naturalnego (jakość powietrza atmosferycznego). Natomiast za miarę poziomu rozwoju gospodarczo-społecznego przyjęto PKB na jednego mieszkańca. Ze względu na swój ilościowy charakter powyższe wskaźniki stanowią również o efektywności postępów realizacji założeń zrównoważonego rozwoju (tabela 1).

Wartości charakterystyk wskazują na przekrojowo-czasowe tendencje w kształtowaniu się analizowanych zjawisk. Średnio w latach 1995–2010 substancją, która w największym stopniu zanieczyszczała powietrze, był CO_2 (rozdęcie 14,77), w najmniejszym stopniu pył (rozdęcie 0,005). Województwami, które w największym stopniu przyczyniają się do degradacji atmosfery, są województwa: łódzkie, śląskie i opolskie, a tymi, które traktują powietrze jako dobro luksusowe, są województwa warmińsko-mazurskie i podkarpackie. Najwyższy średni poziom rozwoju gospodarczego (PKB na jednego mieszkańca) w badanym okresie osiągnęło województwo mazowieckie (35 036 zł), najniższy – lubelskie (15 816 zł). Ponadto, widoczne jest znaczne zróżnicowanie badanych regionów pod względem PKB (rozdęcie 19 222 zł).

Główne przesłanki analizy jakości powietrza prowadzonej z uwzględnieniem rodzajów zanieczyszczeń i poszczególnych województw to:

- fakt, iż nadmierna emisja każdego z zanieczyszczeń powoduje w każdym regionie inne skutki ekonomiczno-społeczno-środowiskowe;
- różne źródła emisji i inne sposoby redukcji poziomu polutantów w zależności od profilu gospodarczego województwa;
- możliwości strategicznego przeciwdziałania degradacji powietrza poprzez swoiste potraktowanie każdego z zanieczyszczeń w badanych regionach;
- możliwość ujęcia charakteru i profilu gospodarek poszczególnych regionów.

Liczne relacje w systemie gospodarka–człowiek–środowisko przebiegają zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Stąd bardzo istotną merytoryczną kwestią jest weryfikacja przestrzennego charakteru zjawisk, np. na podstawie wartości globalnej statystyki Morana I^{11} (tabela 2).

¹¹ J. Le Gallo, C. Ertur, *Exploratory Spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe 1980–1995*, „Regional Science” 2003, vol. 82 (2), s. 175–201. Wielkości globalnej i lokalnej autokorelacji świadczą o sile oraz rodzaju zależności przestrzennych. Tym samym umożliwiają pełniejsze, niż powszechnie stosowane miary, określenie struktur przestrzennych i związków pomiędzy badanymi jednostkami.

Tabela 1. Charakterystyka zmiennych dla $n = 256$, $i = 16$, $t = 16$

Wyszczególnienie		PKB	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	PYŁ
średnia	ZP	21 320	0,025	0,012	0,003	5,27	0,004
	POM	22 207	0,013	0,005	0,003	2,51	0,003
	LUBU	20 055	0,007	0,003	0,018	1,88	0,006
	Ł	20 662	0,074	0,020	0,008	15,82	0,004
	MAZ	35 036	0,028	0,01	0,003	4,89	0,003
	WM	17 271	0,004	0,002	0,003	1,05	0,002
	PODL	16 980	0,006	0,003	0,003	1,52	0,002
	LUBE	15 816	0,010	0,005	0,004	2,29	0,004
	ŚW	17 483	0,035	0,016	0,014	8,77	0,006
	MAŁ	19 488	0,019	0,009	0,015	4,03	0,005
	PODK	15 847	0,008	0,004	0,002	1,62	0,002
	OP	18 968	0,018	0,020	0,016	12,74	0,007
	KP	20 065	0,017	0,008	0,009	3,88	0,006
	ŚL	24 586	0,036	0,017	0,028	7,96	0,008
	W	23 795	0,044	0,009	0,004	5,25	0,004
	DLN	23 836	0,029	0,008	0,004	5,25	0,006
Max ze średniej		35 036 MAZ	0,074 Ł	0,020 OP	0,028 ŚL	15,82 Ł	0,008 SL
Min ze średniej		15 816 LUBE	0,004 WM	0,002 WM	0,002 PODK	1,05 WM	0,002 WM
Rozstęp średniej		19 222	0,070	0,0178	0,025	14,77	0,006

PKB – produkt krajowy brutto na jednego mieszkańca w zł)

roczne emisje substancji z zakładów szczególnie uciążliwych w tonach na mieszkańca: SO₂ – dwutlenek siarki, NO_x – tlenki azotu, CO – tlenek węgla, CO₂ – dwutlenek węgla, PYŁ – zanieczyszczenia pyłowe

i – liczba województw

t – liczba lat

$n = t \times i$ – liczba obserwacji panelu

ZP – woj. zachodnio-pomorskie, POM – woj. pomorskie, LUBU – woj. lubuskie, Ł – woj. łódzkie, MAZ – woj. mazowieckie, WM – woj. warmińsko-mazurskie, PODL – woj. podlaskie, LUBE – woj. lubelskie, ŚW – woj. świętokrzyskie, MAŁ – woj. małopolskie, PODK – woj. podkarpackie, OP – woj. opolskie, KP – woj. kujawsko-pomorskie, ŚL – woj. śląskie, W – woj. wielkopolskie, DLN – woj. dolnośląskie

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Wartości globalnej statystyki Morana / dla zmiennych (lata 1995–2010)

Lata	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SO ₂	0,17	0,18	0,13	0,09	0,03	0,06	0,08	0,09	0,10	0,09	0,07	0,08	0,09	0,12	0,08	0,13
	0,03	0,02	0,06	0,08	0,13	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,14	0,12	0,10	0,08	0,09	0,06
NO _x	0,22	0,22	0,19	0,21	0,21	0,23	0,23	0,23	0,26	0,26	0,26	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19
	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
CO ₂	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18	0,25	0,25	0,27	0,26	0,25	0,22	0,22
	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
CO	0,05	0,06	0,07	0,11	0,15	0,18	0,15	0,12	0,09	0,11	0,07	0,07	0,05	0,08	0,03	0,05
	0,14	0,13	0,12	0,07	0,04	0,02	0,03	0,04	0,09	0,08	0,14	0,14	0,15	0,11	0,19	0,16
PYŁ	0,27	0,27	0,26	0,22	0,24	0,21	0,25	0,13	0,19	0,15	0,12	0,22	0,14	0,10	0,04	0,13
	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,07	0,03	0,04	0,07	0,02	0,05	0,12	0,16	0,06
PKB	0,15	0,23	0,24	0,26	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,24	0,23
	0,29	0,04	0,04	0,01	0,03	0,06	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03

w górnych wierszach podano wartości statystyk Morana I
 kolor szary – statystyki istotne, na poziomach istotności $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,1$
 czcionka pogrubiona – wartości ujemne
 weryfikacja istotności statystyki opiera się na testach randomizacji, więcej zob. np.: *Ekometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, red. B. Sucecki, C.H. Beck, Warszawa 2010, s. 120

Źródło: opracowanie własne w pakiecie GeoDa.

W przypadku każdego z analizowanych mierników jakości powietrza występuje zjawisko wyraźnej przestrzennej autokorelacji dodatniej. Oznacza to, iż województwa tworzą skupienia o podobnych poziomach zanieczyszczeń. Natomiast rozwój gospodarczy charakteryzuje ujemna autokorelacja przestrzenna, co oznacza, że województwa o niskich wartościach miernika są usytuowane blisko województw o wysokim poziomie PKB. W przypadku CO, PYŁ i PKB wartości statystyk Morana I wykazują tendencję malejącą w czasie. Nie oznacza to jednak atrofii zależności przestrzennych, a świadczy raczej o dywergencji regionalnej. W kwestii wielkości emisji zanieczyszczeń być może jest to efekt współpracy i podejmowania działań na rzecz „ekorozwoju”. Jednocześnie w Polsce są województwa, które w wyniku procesów produkcji i działalności gospodarczej nadmiernie eksploatują zasoby naturalne (np. dla SO₂ i CO₂ zjawisko autokorelacji przestrzennej nasila się). Konsekwencją tego jest nie tylko wzrost poziomu emisji tych gazów w regionach będącymi ich źródłem, lecz także transfer polutantów poza granice danego województwa.

Jednym z celów publikacji była weryfikacja hipotezy o wpływie zależności przestrzennych na relacje gospodarka–środowisko. Zatem istnieje konieczność budowy wskaźnika odzwierciedlającego jakość powietrza (środowiska) w regionach. Policzono statystyki Morana I (tabela 2) posłużyły do konstrukcji miernika syntetycznego POW, obrazującego stan powietrza. Wskaźnik składa się z ważonych wielkości poszczególnych polutantów. Wagi nadano na podstawie średnich wartości i liczby istotnych statystycznie wartości statystyk Morana I (w poszczególnych latach analizy 1995–2010) dla poszczególnych wskaźników degradacji powietrza (tabela 2):

$$P\hat{O}W = 0,35NO_x + 0,35CO_2 + 0,2SO_2 + 0,1CO, \quad (1)$$

dla NO_x waga wynosi 0,35 – szesnaście istotnych statystyk Morana I , dla CO₂ waga wynosi 0,35 – szesnaście istotnych statystyk Morana I , dla SO₂ waga wynosi 0,2 – dwanaście istotnych statystyk Morana I , dla CO waga wynosi 0,1 – siedem istotnych statystyk Morana I .

Tabela 3. Macierz współczynników korelacji dla wszystkich zmiennych i dla $i = 16, t = 16, n = 256$

	PKB	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	POW	PYŁ
PKB	1						
SO ₂	-0,18	1					
NO _x	-0,03	0,66	1				
CO	0,06	0,08	0,47	1			
CO ₂	0,08	0,67	0,90	0,37	1		
POW	0,08	0,67	0,90	0,37	0,99	1	
PYŁ	-0,57	0,47	0,45	0,28	0,23	0,23	1

czcionka pogrubiona – relacje zmiennej niezależnej ze zmiennymi zależnymi

Źródło: opracowanie własne w pakiecie STATA 11.

Za selekcją zmiennych przemawiały przesłanki zarówno merytoryczne (o wpływie działalności człowieka na jakość środowiska), jak i formalne (np. współczynniki korelacji liniowej Pearsona).

Ze wstępnej analizy zależności między zmiennymi (wyselekcjonowanymi zgodnie z celem badania i założeniami merytorycznymi teorii o krzywej EKC) wynika, że związki korelacyjne na pełnej próbie panelowej ($n = 256$) są nieistotne (niskie współczynniki korelacji między PKB i zmiennymi zależnymi). Mimo to można dokonać interpretacji kierunków tych zależności. Rozwój ekonomiczny (dobrobyt) wpływa jedynie na spadek wielkości emisji pyłów (współczynnik korelacji: $-0,57$). W przypadku pozostałych zależności charakter oddziaływań wydaje się poprawny, ale przy niewielkiej (nieistotnej) sile korelacji. Z punktu widzenia charakteru próby i niedoskonałości procedur obliczeniowych nieistotne relacje są jedynie pozorne. Niskie wartości współczynników korelacji (tabela 3) uzyskano, ponieważ nie uwzględniono specyfiki danych (przekrojowo-czasowych). Zatem, aby potwierdzić trafność doboru zmiennych, policzono współczynniki korelacji (dla tego samego zbioru kandydatów), ale osobno dla losowo wybranych województw (mazowieckiego i warmińsko-mazurskiego) w 16 okresach analizy (szereg czasowy 16 lat, $t = 16$) – tabela 4.

Tabela 4. Wartości współczynników korelacji dla wszystkich zmiennych odnośnie do województw mazowieckiego i warmińsko-mazurskiego

Wyszczególnienie	Mazowieckie	Warmińsko-mazurskie
Zmienna	PKB	
PKB	1	1
SO ₂	-0,89	-0,91
NO _x	-0,54	-0,88
CO	0,51	-0,89
CO ₂	0,93	-0,72
POW	0,93	-0,73
PYŁ	-0,95	-0,79

Źródło: opracowanie własne w pakiecie STATA 11.

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 4 można stwierdzić, iż wartości współczynników korelacji wskazują na występowanie silnych różnokierunkowych zależności między rozwojem gospodarczym a zanieczyszczeniem powietrza. W województwie mazowieckim wzrost poziomu PKB nadal powoduje wzrost emisji zanieczyszczeń gazowych wyrażonych miernikiem POW (odwrotnie niż w województwie warmińsko-mazurskim). Z jednej strony, rozwój ekonomiczno-społeczny województwa mazowieckiego powoduje znaczny spadek wielkości emisji PYŁ, SO₂ i w mniejszym stopniu NO_x (ujemny znak współczynników). Z drugiej strony, wraz ze wzrostem gospodarczym następuje wzrost poziomu emisji CO₂ i CO.

W województwie warmińsko-mazurskim wzrost poziomu PKB przyczynia się do redukcji skali zanieczyszczeń (ujemne znaki współczynników korelacji). Powyższe kierunki i skala zależności, między rozwojem gospodarczym a degradacją powietrza, znajdują odzwierciedlenie w wynikach przestrzenno-przekrojowo-czasowej analizy ekonometrycznej.

Wśród częstych pożądanych własności szeregu czasowego pojawia się warunek jego stacjonarności. Charakteryzowane wyżej zmienne poddano testowi Levin–Lin–Chu na obecność pierwiastka jednostkowego dla próby o charakterze panelu (tabela 5).

Tabela 5. Weryfikacja stacjonarności zmiennych panelu

Nazwa testu	Zmienna	Wartości statystyk		<i>P-value</i>	Wybór hipotezy
Levin–Lin–Chu H₀: występowanie pierwiastka jednostkowego niektórych szeregów czasowych tworzących panel H₁: brak pierwiastka jednostkowego w panelu	PKB (IPKB)	bez trendu	-2,15 (-4,35)	0,02 (0,000)	H ₁
		z trendem	-7,01 (-6,72)	0,000 (0,000)	
	SO ₂ (ISO ₂)	bez trendu	-7,24 (-5,01)	0,000 (0,000)	H ₁
		z trendem	-9,01 (-7,19)	0,000 (0,000)	
	NO _x (INO _x)	bez trendu	-13,09 (-9,25)	0,000 (0,000)	H ₁
		z trendem	-7,31 (-5,04)	0,000 (0,000)	
	CO (ICO)	bez trendu	-1,42 (-3,16)	0,08 (0,0008)	H ₁
		z trendem	-3,37 (-3,65)	0,0004 (0,0001)	
	CO ₂ (ICO ₂)	bez trendu	-3,63 (-3,54)	0,0001 (0,0002)	H ₁
		z trendem	-5,18 (-4,97)	0,0000 (0,0000)	
	POW (IPOW)	bez trendu	-3,62 (-3,52)	0,0001 (0,0002)	H ₁
		z trendem	-5,15 (-4,95)	0,0000 (0,0000)	
	PYŁ (IPYŁ)	bez trendu	-4,47 (-5,34)	0,0000 (0,0000)	H ₁
		z trendem	-5,20 (-6,39)	0,0000 (0,000)	

Źródło: opracowanie własne w STATA 11.

Test Levin–Lin–Chu zakłada występowanie pierwiastka jednostkowego (hipoteza zerowa). Natomiast hipoteza alternatywna mówi o stacjonarności panelu. Wartości policzonych statystyk zawartych w tabeli 5 wskazują na stacjonarność panelu w przypadku wszystkich analizowanych zmiennych. Rezultaty analizy ekonometrycznej, prezentowane w dalszej części publikacji, wskazują na fakt dywersyfikacji województw ze względu na poziom „ekorozwoju”. Wyniki potwierdzają również istotny wpływ zależności międzyregionalnych na jakość powietrza i kształt krzywych EKC.

3. Opis zastosowanych metod ekonometrycznych

Użytkowanie środowiska jest nieodłącznym elementem rozwoju gospodarczego. Przeświadczenie ekonomistów, iż miarą sukcesu gospodarczego jest jedynie wzrost ekonomiczny oraz dobrobyt materialny, w konsekwencji prowadzi do ignorowania barier środowiskowych oraz nieuwzględniania w analizach charakteru zależności: człowiek–gospodarka–środowisko. Warunkiem zapewnienia racjonalnego rozwoju oraz efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych jest identyfikacja i poznanie tych wzajemnych wielokierunkowych relacji. Uchwycenie powiązań, ukazanie i kontrola jakości oraz możliwości produkcyjnych środowiska jest jednym z celów metod ilościowych. EKC jest modelem ekonomiczno-ekologicznym, przedstawiającym relację pomiędzy poziomem dochodów PKB na osobę a „popytem” na czyste środowisko. Hipoteza klasycznej EKC mówi, że skala degradacji środowiska wzrasta do pewnego momentu. Po osiągnięciu ekstremum proces zanieczyszczania zostanie wstrzymany (np. dzięki inwestycjom prośrodowiskowym). Empirycznie udowodniono, że wzrost gospodarczy wpływa na poziom degradacji środowiska, przybierając kształt odwróconej litery U. Punkt przekroczenia pewnego poziomu dochodów (mówi się o podwojeniu dochodów bądź nawet ich potrojeniu – różne typy EKC, tabela 6) w danej gospodarce będzie punktem zwrotnym (ekstremum funkcji), po którym, pomimo dalszego rozwoju gospodarczego, nastąpi spadek degradacji środowiska¹². Przestrzenne modele EKC (np. dla danych panelowych) nie tylko potwierdzają tezę o istnieniu i typie związku między określonym poziomem dobrobytu a wzrostem popytu na czyste środowisko, ale także mierzą wzajemną siłę oddziaływania rozwoju jednego regionu na rozwój regionów sąsiednich (również na stan środowiska).

¹² D. Stern, *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve*, „World Development” 2004, vol. 32, no. 8, s. 1419–1439.

Tabela 6. Typy przestrzennych modeli panelowych opisanych funkcjami EKC¹³

		Klasyczna EKC		Odwrotna EKC	
Klasyczne EKC	FEM	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$	
	REM	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}$	
Przestrzenne EKC	SAR	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + u_{it}$	
	FEM	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$ $u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$ $u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$	
	SAR	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}$	
	SEM	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}$ $v_{it} = \alpha_i + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$	
		Kubiczna klasyczna EKC		Kubiczna odwrotna EKC	
Klasyczne EKC	FEM	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}$	
	REM	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}$	
Przestrzenne EKC	SAR	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + u_{it}$	
	FEM	$lE_{it} = -\alpha_i + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$		$lE_{it} = \alpha_i - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$	
	SAR	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + \rho lWE_{it} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}$	
	SEM	$lE_{it} = -\alpha_0 + \alpha_1 lPKB_{it} - \alpha_2 (lPKB_{it})^2 + \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$		$lE_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 lPKB_{it} + \alpha_2 (lPKB_{it})^2 - \alpha_3 (lPKB_{it})^3 + \mathbf{x}_{it}^T \boldsymbol{\beta} + v_{it}, v_{it} = \alpha_i + u_{it}, u_{it} = \lambda \mathbf{W} u_{it} + \varepsilon_{it}$	

dla $u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$, $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$, $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$, gdzie

E_{it} – wskaźnik stanu środowiska (np. powietrza)

PKB – miernik rozwoju gospodarczego

\mathbf{x}_{it}^T – macierz innych zmiennych objaśniających

ρ – parametr opóźniecia przestrzennego

λ – parametr autokorelacji (autoregresji) przestrzennej składnika losowego

α_i – efekty ustalone

u_{it}, ε_{it} – składnik losowy

v_{it} – łączny składnik losowy

\mathbf{W} – macierz wag przestrzennych¹⁴

¹³ Więcej na temat przestrzennych modeli panelowych w: *Ekonometria przestrzenna II. Modele zaawansowane*, red. B. Suchecki, C.H. Beck, Warszawa, 2012.

¹⁴ O macierzach wag przestrzennych zob.: ibidem, s. 114.

W niniejszej publikacji wykorzystano przestrzenne modele panelowe oparte na teorii EKC. Warunkiem uzyskania poprawnych wniosków analizy jest spełnienie określonych założeń dotyczących postaci oraz metod estymacji parametrów krzywej. Przede wszystkim funkcja powinna być wielomianem co najmniej drugiego stopnia¹⁵. To oznacza sytuację, w której środowisko uznaje się za dobro luksusowe oraz stopień zaawansowania rozwoju gospodarczego kraju „sprzyja” degradacji bądź poprawie jakości środowiska¹⁶. Można powiedzieć, że im kraj jest bardziej rozwinięty, tym dbałość o jakość środowiska powinna być większa. Należy, oczywiście w miarę możliwości, uwzględnić specyfikę badanego regionu, wprowadzając pewne modyfikacje podstawowej wersji krzywej, np. poprzez: analizę kubicznej postaci funkcji, dodatkowe zmienne objaśniające, estymację modeli panelowych¹⁷ oraz uwzględnienie przestrzennych zależności (tabela 6)¹⁸.

Wszystkie zmienne ze względu na przesłanki merytoryczne i techniczne są transformowane do postaci logarytmów (poziom rozwoju gospodarczego mierzonego PKB *per capita* i zanieczyszczenia środowiska zawsze osiągają wartości większe od zera). O potwierdzeniu hipotezy EKC świadczą znaki szacowanych ocen parametrów (wyrazu wolnego oraz stojących przy zmiennych opisujących rozwój gospodarczy)¹⁹.

Jak dotychczas, nie zostały przeprowadzone badania weryfikujące hipotezę EKC dla polskiej gospodarki na niższym poziomie administracyjnym niż NUTS1 z uwzględnieniem wpływu interakcji międzyregionalnych²⁰. W niniejszym opracowaniu, w celu realizacji założeń badania, estymowano przestrzenne modele panelowe EKC dla województw Polski dla okresu 16 lat, z uwzględnieniem rodzajów substancji zanieczyszczających powietrze.

¹⁵ V. Costantini, *A modified Environmental Kuznets Curve for Sustainable Development Assessment Using Panel Data*, FEEM (Venice), Nota di Lavoro 2006, no. 148.

¹⁶ Np. K.E. McConnell, *Income and the demand for environmental quality*, „Environment and Development Economics” 1997, no. 2, s. 383–399.

¹⁷ A. Levinson, *The Ups and Downs of the Environmental Kuznets Curve*, „UCF/ Center Conference on Environment”, 30.11–01.12.2000, Orlando (FL).

¹⁸ Na przykład: E. Antczak, J. Suchecka, *Spatial autoregressive panel data models applied to evaluate the levels of sustainable development in European countries*, „Folia Oeconomica Acta Universitatis Lodziensis” 2011, no. 252, s. 21–44; E. Antczak, *Degradacja powietrza...*, op.cit.

¹⁹ E. Antczak, *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju Europy. Analizy przestrzenno-czasowe*, Wydawnictwo Biblioteka, Łódź 2012.

²⁰ E. Wiszniewska, *Weryfikacja hipotezy środowiskowej krzywej Kuzneta na przykładzie Polski. Analiza ekonometryczna*, Wydawnictwo UEK w Krakowie, Kraków 2009, s. 375–387.

4. Rezultaty przestrzenno-przekrojowo-czasowej analizy ekonometrycznej

Celem estymowanych przestrzennych modeli panelowych EKC jest m.in.:

- weryfikacja istnienia zależności pomiędzy rozwojem gospodarczym a jakością powietrza w województwach Polski w latach 1995–2010,
- nadanie kierunku relacjom ekologiczno-ekonomicznym i pomiar ich siły,
- identyfikacja punktów zwrotnych równowagi i nierównowagi ekonomiczno-ekologicznej (wskazanie poziomów PKB w zł na jednego mieszkańca dla Polski i dla poszczególnych województw oraz poziomów substancji zanieczyszczających),
- identyfikacja istnienia wpływu interakcji przestrzennych na jakość środowiska, ich kierunków i siły,
- wskazanie regionów, w których jakość powietrza jest zagrożona (również regionów sąsiednich, zgodnie z przyjętą macierzą wag przestrzennych),
- policzenie odległości Polski i województw od punktów równowagi zwrotnych.

W tabeli 7 przedstawiono wyniki analizy ekonometrycznej (modeli typu FEM) weryfikującej postawione hipotezy i cele badania. W przypadku miernika IPOW hipoteza klasycznej EKC nie została potwierdzona (przyjęto hipotezę o odwrotnej krzywej Kuzneta²¹). Co więcej, zależności przestrzenne okazały się mieć istotny wpływ na jakość powietrza, a model SE-FEM-EKC – lepszy od modelu typu SAR.

²¹ Autorka publikacji estymowała również klasyczne i przestrzenne modele dla poszczególnych zanieczyszczeń, np. dla ISO_2 przyjęto hipotezę odwrotnej kubicznej EKC, dla ICO_2 odwrotnej EKC, dla $IPYL$ -kubicznej EKC; wyniki przeprowadzonych i kontynuowanych badań zostaną opublikowane w przyszłości, pytania można kierować do autorki: wiszniewska@uni.lodz.pl.

Tabela 7. Modele panelowe z efektami przestrzennymi – zmienna zależna IPOW

1) $IPOW_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 IPKB_{it} + \alpha_2 (IPKB_{it})^2 + u_{it}$				
parametr	wartość	t-studenta	błąd oceny	p-value
const	3,87	3,71	1,04	0,000
α_1	-0,77	-3,61	0,21	0,000
α_2	0,04	3,65	0,01	0,000
α_i	ZP = 3,99, POM = 3,67, LUBU = 3,54, Ł = 4,47 , MAZ = 3,94, WM = 2,29 , PODL = 3,45, LUBE = 3,63, ŚW = 4,21, MAŁ = 3,87, PODK = 2,48, OP = 4,38, KP = 3,86, ŚŁ = 4,16, W = 3,99, DLN = 3,99			
R^2	within = 0,58		between = 0,05	overall = 0,02
<ul style="list-style-type: none"> ● test Chowa na istotność efektów grupowych: $F^*(15, 238) = 1,71, F = 1179, F > F^*$ ● normalność rozkładu reszt: Chi - kwadrat = 7,52, z wartością $p\text{-value} = 0,02$ ● stacjonarność reszt: Levin-Lin-Chu, bez trendu H_1 dla -3,60 (0,0002), z trendem H_1 dla -5,2975 (0,000) ● test na słuszność próby panelowej: $\rho = 0,99 > 0$ ● $F(2,238) = 7,45, corr (IPKB, (IPKB)^2; \alpha_i) = 0,11, Prob = 0,001$, istotność FE nad REM 				
Punkty zwrotne (zł): 10 000 (po 1996 r.) , ZP = 10 200, POM = 10 050, LUBU = 10 150, Ł = 10 050 (po 1996 r.), MAZ = 10 150 (przed 1995 r.), WM = 10 300 (przed 1998 r.), PODL = 10 200, LUBE = 10 050, ŚW = 10 000, MAŁ = 10 100, PODK = 10 250, OP = 10 050, KP = 10 100, ŚŁ = 10 100, W = 10 200, DLN = 10 200				
2) $IPOW_{it} = \alpha_0 - \alpha_1 IPKB_{it} + \alpha_2 (IPKB_{it})^2 + \rho / WPOW_{it} + u_{it}$				
Oceny parametrów istotne statystycznie, ale test Chowa efektów przestrzennych wskazał: $F_{SAR-FEM} < F^*$, -1,85 < 2,4, SAR-FEM-EKC gorszy od FEM-EKC i SE-FEM-EKC dla $F(4,249)$, punkt zwrotny 9600 zł				
3) $IPOW_{2it} = \alpha_0 - \alpha_1 IPKB_{it} + \alpha_2 (IPKB_{it})^2 + u_{it} \quad u_{it} = \lambda W u_{it} + \varepsilon_{it}$				
parametr	wartość	t-studenta	błąd oceny	p-value
const	6,01	6,14	0,98	0,000
α_1	-1,21	-4,88	0,25	0,000
α_2	0,06	4,93	0,01	0,000
λ	0,43	4,30	0,09	0,000
α_i	ZP = 6,13, POM = 5,79, LUBU = 5,69, Ł = 6,61 , MAZ = 6,07, WM = 5,43 , PODL = 5,59, LUBE = 5,77, ŚW = 6,35, MAŁ = 6,02, PODK = 5,62, OP = 6,52, KP = 6, ŚŁ = 6,3, W = 6,13, DLN = 6,12			
<ul style="list-style-type: none"> ● $R^2 = 0,99$, ● test Chowa na istotność efektów grupowych $F^*(15, 238) = 1,71, F = 1418, F > F^*$, ● normalność rozkładu reszt: Shapiro-Wilk, $W = 0,98, p\text{-value} = 0,2$ ● stacjonarność reszt: Levin-Lin-Chu, bez trendu H_1 dla -3,34 (0,000), z trendem H_1 dla -5,35 (0,000) 				
Test Chowa efektów przestrzennych: $F_{SEM-FEM} > F^*$, 2,6 > 2,4, SE-FEM-EKC lepszy od FEM-EKC i SAR-FEM-EKC, $p\text{-value} = 0,05$, $F(4,249)$				
Punkty zwrotne (zł): 9900 , ZP = 10 000, POM = 10 000, LUBU = 10 050, Ł = 9700 (po 1995 r.), MAZ = 9850 (przed 1995 r.), WM = 9950 (po 1996 r.), PODL = 10 100, LUBE = 10 100, ŚW = 9 750, MAŁ = 9900, PODK = 10 000, OP = 9750, KP = 9900, ŚŁ = 9800, W = 10 000, DLN = 10 000				

W – macierz wag przestrzennych k -nabliższych sąsiadów, standaryzowana wierszami

Źródło: opracowanie własne w pakietach RCrana, STATA 11, Gretl i MS Excel.

Konsekwencją przyjęcia hipotezy o odwrotnej krzywej EKC (znaki ocen parametrów są dodatnie: wyrazu wolnego i α_2) jest wyznaczenie poziomu rozwoju gospodarczego, od którego wraz ze wzrostem PKB na jednego mieszkańca następuje degradacja powietrza. Klasyczny model panelowy FEM-EKC wskazał punkt zwrotny dla Polski o średniej wartości 10 000 zł na jednego mieszkańca (ok. 1996 r.). Zatem oznacza to, iż do 1996 r. jakość powietrza nie spadła w wyniku „bogacenia się” polskiego społeczeństwa. Natomiast przeciętnie od 1996 r. intensywny dalszy rozwój społeczno-gospodarczy skutkuje nadmiernym i trwałym zanieczyszczeniem atmosfery. Mimo intensywnych działań na rzecz poprawy jakości powietrza (inwestycji, instalacji filtrów, trendu „eko”) i efektów w postaci zmniejszania się wielkości emisji, aż do 2010 r. nie pojawił się wyraźny punkt zwrotny (drugi punkt przełamania) na krzywej Kuzneta. Byłby to poziom PKB, od którego wysoka jakość środowiska byłaby dla polskiego społeczeństwa dobrem luksusowym (warto w nie inwestować). W wyniku analizy panelowej modeli *fixed effects* możliwe jest pozyskanie oszacowań ocen efektów ustalonych dla poszczególnych jednostek próby. Rezultaty estymacji modelu 1 (tabela 7) wskazują, iż największym polutantem powietrza w latach 1995–2010 okazało się województwo łódzkie ($\alpha_{i4} = 4,47$), wzorcem ekorozwoju zaś województwo warmińsko-mazurskie ($\alpha_{i6} = 2,29$). Dla województw policzono ekstrema funkcji. Wartości punktów zwrotnych dla poszczególnych jednostek badania wskazują na wpływ intensywności rozwoju gospodarczo-społecznego na jakość środowiska. Ponadto, punkty przełamania (PKB na jednego mieszkańca) identyfikują udział w kształtowaniu się zjawiska i miejsce danego regionu na krzywej EKC oraz jego odległość od województwa będącego „wzorcem ekorozwoju” i „antywzorcem ekorozwoju”. Na przykład województwo łódzkie już od 1996 r. było regionem, którego rozwój gospodarczy w największym stopniu przyczyniał się do degradacji powietrza w Polsce (już od 10 050 zł na mieszkańca). Oznacza to, że podnoszenie poziomu dobrobytu już po 1996 r. miało wpływ na pogarszanie się w tym województwie jakości środowiska. Przeciwna sytuacja dotyczy województwa warmińsko-mazurskiego (wskazanego jako „ekowóz”), w którym rozwój gospodarczy powodował wzrost poziomu analizowanego zjawiska, ale tylko przed 1998 r. (PKB na mieszkańca wynosiło „aż” 10 300 zł).

Wyniki estymacji klasycznego modelu FEM-EKC stanowią źródło cennych informacji na temat analizowanych zależności. Jednakże wartości policzonych statystyk dla klasycznego modelu FEM-EKC wskazywały na dość niską jakość tego narzędzia (m.in. brak rozkładu normalnego, niski współczynnik determinacji). Zatem w dalszej części estymowano modele SAR-FEM-EKC i SE-FEM-EKC, uwzględniające istniejące międzyregionalne zależności przestrzenne (modele 2 i 3, tabela 7). Co więcej, interakcje międzyregionalne, uwzględnione w postaci WIPOW i autokorelacji przestrzennej składnika losowego, okazały się mieć istotny wpływ nie tylko na kształtowanie się jakości powietrza w województwach sąsiednich, ale także na przesunięcie

w czasie punktów zwrotnych²². Stwierdzono, że emisja zanieczyszczeń w regionie powoduje wzrost emisji zanieczyszczeń w regionach sąsiednich ($\lambda = 0,43$). Ponadto, wartość poziomu PKB, od którego dalszy rozwój gospodarczy powoduje nadmierną emisję i degradację powietrza, w wyniku interakcji przestrzennych miała miejsce o rok wcześniej (PKB = 9900zł, od 1995 r) niż wskazał model klasyczny. Wzrosły również wartości ocen poszczególnych parametrów (np.: $const = 6,01$, dla modelu klasycznego 3,87, $\alpha_2 = 0,04$, $\alpha_2 = 0,06$). Podobna sytuacja ma miejsce w poszczególnych województwach. Po wprowadzeniu do modelu zmiennej opisującej interakcje przestrzenne pozycja większości województw nie uległa zmianie, np. województwo łódzkie nadal w największym stopniu zagraża jakości powietrza w Polsce, województwo warmińsko-mazurskie w najmniejszym. Nastąpiła zmiana siły zależności. Wzrosły wartości oszacowanych efektów stałych (średnio o około 55% w porównaniu z modelem klasycznym). Wyniki estymacji modelu 3 (tabela 7) wskazują, iż w każdym województwie uwzględnienie wielkości transgranicznych emisji zanieczyszczeń spowodowało przyspieszenie osiągnięcia poziomu rozwoju, od którego pogarsza się jakość środowiska, np. w łódzkim z 10 050 zł na jednego mieszkańca do 9700 zł, czyli z roku 1996 r. na 1995 r.²³, w województwie warmińsko-mazurskim z 10 300 zł do 9950 zł, czyli z 1998 r. na 1996 r. W przypadku pozostałych jednostek badania, w mniejszym bądź większym stopniu, nastąpiło przyspieszenie osiągnięcia poziomu rozwoju degradującego atmosferę. Ponadto, wraz z włączeniem do modelu FEM-EKC zmiennej opisującej zachodzące interakcje przestrzenne poprawiła się jakość modelu ($R^2 = 0,99$, uzyskano rozkład normalny reszt, a otrzymane wyniki są merytorycznie poprawne).

5. Podsumowanie

W niniejszej publikacji zweryfikowano hipotezę EKC na poziomie polskich NUTS2 w latach 1995–2010 z zastosowaniem przestrzennych modeli panelowych SAR-FEM i SE-FEM. Zmienną zależną reprezentującą stan środowiska naturalnego (powietrza) był syntetyczny miernik IPOW, skonstruowany z ważonych wielkości emisji zanieczyszczeń gazowych. Zgodnie z założeniem oszacowanych krzywych (tu przyjęto hipotezę o odwrotnej EKC) wyznaczono poziom rozwoju gospodarczego (PKB na jednego mieszkańca w zł) jako punkt, po którym dalszy wzrost ekonomiczny

²² Na podstawie testu Chowa efektów przestrzennych model SE-FEM-EKC okazał się jakościowo lepszy od SAR-FEM-EKC, i dlatego interpretację wyników estymacji tego pierwszego odniesiono do wyników estymacji modelu FEM-EKC.

²³ Dla próby czasowej obejmującej wcześniejsze lata punkt zwrotny mógłby pojawić się jeszcze przed 1995 r. Jednakże od 1990 r. sposób szacowania wielkości zanieczyszczeń i klasyfikacji zakładów szczególnie uciążliwych ulegał zmianom. Zatem 1995 r. przyjęto za bazy w niniejszym badaniu.

powoduje degradację powietrza (powietrze nie jest traktowane jako dobro luksusowe). Punkty zwrotne wyznaczono dla Polski ogółem oraz dla poszczególnych województw (atut modelu FEM). Ponadto, potwierdzono hipotezę o niekorzystnym wpływie interakcji przestrzennych na jakość powietrza ($0,43 W_{it}$). Interakcje międzyregionalne (emisja zanieczyszczeń wewnątrz i poza granice regionu) powodują obniżenie poziomu rozwoju, od którego dalszy wzrost dobrobytu zagraża jakości powietrza w Polsce (10 000 zł dla SE-FEM-EKC i 9900 zł na mieszkańca dla FEM-EKC) i w każdym województwie. Model przestrzenny okazał się lepszy jakościowo od modelu klasycznego. Wyniki przeprowadzonej analizy wstępnie zarysowują problem wielokierunkowości relacji w systemie człowiek–gospodarka–środowisko. Potwierdzono również słuszność i trafność aplikacyjną przestrzennych modeli na gruncie nauk ekologiczno-ekonomicznych. Kierunkami dalszych badań będą: udoskonalenie konstrukcji miernika POW, weryfikacji stanu innych komponentów przyrody, zastąpienie PKB innymi miernikami dobrobytu, estymacja modeli typu *random effects*, analiza, np. dla NUTS3, NUTS4.

Bibliografia

- Antczak E., *Degradacja powietrza a rozwój gospodarczy w Europie. Modele panelowe z efektami przestrzennymi*, Wydawnictwo UEK w Krakowie, Kraków 2011, s. 167–177.
- Antczak E., *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju Europy. Analizy przestrzenno-czasowe*, Wydawnictwo Biblioteka, Łódź 2012.
- Antczak E., Suchecka J., *Spatial autoregressive panel data models applied to evaluate the levels of sustainable development in European countries*, „Folia Oeconomica Acta Universitatis Lodziensis” 2011, no. 252, s. 21–44.
- Burnett J.W., Bergstrom J.C., *U.S. State-Level Carbon Dioxide Emissions: A Spatial-Temporal Econometric Approach of the Environmental Kuznets Curve*, University of Georgia (Athens), Working Paper 2010 („Faculty Series”), no 96031.
- Costantini V., *A modified Environmental Kuznets Curve for Sustainable Development Assessment Using Panel Data*, FEEM (Venice), Nota di Lavoro 2006, no. 148.
- Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, red. B. Suchecki, C.H. Beck, Warszawa 2010.
- Ekonometria przestrzenna II. Modele zaawansowane*, red. B. Suchecki, C.H. Beck, Warszawa 2012.
- Le Gallo J., Ertur C., *Exploratory Spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe 1980–1995*, „Regional Science” 2003, vol. 82 (2), s. 175–201.

- Levinson A., *The Ups and Downs of the Environmental Kuznets Curve*, „UCF/ Center Conference on Environment”, 30.11–01.12.2000, Orlando (FL).
- McConnell K.E., *Income and the demand for environmental quality*, „Environment and Development Economics” 1997, no. 2, s. 383–399.
- Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, *Strategia Rozwoju Kraju 2007–2015*, Warszawa 2006.
- Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, *Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030*, Warszawa 2011.
- Ministerstwo Środowiska, *Polityka ekologiczna państwa w latach 2009–2012. Z perspektywą do roku 2016*, Warszawa 2008.
- Rada UE, *Odnowiona strategia UE dotycząca trwałego rozwoju*, Bruksela 2006.
- Stern D., *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve*, „World Development” 2004, vol. 32, no. 8, s. 1419–1439.
- Tobler W.R., *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*, „Economic Geography” 1970, no. 46.
- Wisniewska E., *Weryfikacja hipotezy środowiskowej krzywej Kuznetsa na przykładzie Polski. Analiza ekonometryczna*, Wydawnictwo UEK w Krakowie, Kraków 2009, s. 375–387.

Źródła sieciowe

- <http://ec.europa.eu/environment/newprg/index.htm> [dostęp 25.03.2012].
- www.ochronaklimatu.com/ [dostęp 29.03.2012].
- www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm [dostęp 01.03.2012].

Summary

The application of spatial panel models to verify the Environmental Kuznets Curve hypothesis on the Polish example

The purpose of this paper is to verify the EKC hypothesis of Polish NUTS2 in years 1995–2010. The study was conducted for selected environmental indicators (emission of gases and dusts into the air), as dependent variables (the environment state), and GDP per capita-explanatory variable (economic development level). Conducted spatial econometric panel analysis was based on EKC functions. There was described the theoretical basis for constructing models. Estimation was carried out by ML in RCran. The obtained results were interpreted and the hypotheses were verified.

Keywords: spatial panel models, Environmental Kuznets Curve (EKC), environmental degradation, economic development, sustainable economic development

JEL classification: C33, Q53, Q56