

## **DYNAMICZNE MODELE EKONOMETRYCZNE**

IX Ogólnopolskie Seminarium Naukowe, 6–8 września 2005 w Toruniu  
Katedra Ekonometrii i Statystyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

---

*Marek Szajt*  
*Politechnika Częstochowska*

### **Modelowanie innowacyjności państwa w oparciu o modele przestrzenno-czasowe**

#### **1. Problemy modelowania makroekonomicznego**

W przypadku posiadania danych makroekonomicznych często powstaje problem niewystarczającej liczby obserwacji niezbędnych do modelowania ekonometrycznego. Ten rodzaj danych charakteryzuje się zazwyczaj częstotliwością roczną, a ewentualne zastąpienie ich informacjami kwartalnymi, niesie za sobą potrzebę uwzględnienia wahań sezonowych, co w przypadku interesujących nas kwestii jest praktycznie niewykonalne (w przypadku danych dotyczących zmiennej endogenicznej). Wydłużenie szeregu obserwacji jest utrudnione ze względu na:

- brak odpowiednich informacji,
- zmiany terytorialne i administracyjne (dotyczy to zwłaszcza państw Europy Centralnej i Wschodniej),
- zmiany strukturalne i technologiczne,

Posiadając zbyt skąpe informacje na temat kształtowania się badanego zjawiska dla danej zbiorowości, można poszerzyć ich liczbę korzystając z informacji dotyczących tegoż zjawiska dla innej zbiorowości o podobnym charakterze. Próba ma w tym przypadku charakter przekrojowy (te same zmienne dla różnych obiektów np. krajów) w tej samej jednostce czasu, lub przekrojowo – czasowy, gdy dane te dotyczą dodatkowo kilku okresów.

Celem pracy jest przedstawienie możliwości wykorzystania tego typu modeli w badaniu aktywności innowacyjnej. W analizach ekonometrycznych dotyczących krajów Europy Centralnej i Wschodniej coraz częściej sięga się po dane dotyczące zespołu państw o podobnym kierunku rozwoju, podobnej prze-

szłości i aspiracjach na przyszłość<sup>1</sup>. W celu zbadania aktywności innowacyjnej posłużono się analizą aktywności patentowej. Jako miara tej aktywności stosowana jest często liczba patentów zgłoszonych przez rezydentów, bądź przez nie rezydentów na terenie danego kraju. Dla większej porównywalności wielkości te odnoszone są do liczby mieszkańców, liczby osób aktywnych zawodowo lub do powierzchni danego państwa. Dane te w latach 80- tych gromadzone były w oparciu o różne kryteria państw dwu istniejących wówczas w Europie bloków politycznych. Dopiero od lat 90 – tych, dysponujemy informacjami usystematyzowanymi według tych samych kryteriów wyznaczonych przez World International Propriety Organization.

## 2. Modele przestrzenno-czasowe

Typowym sposobem wykorzystania danych przestrzenno-czasowych jest jednorównaniowy, jednoczynnikowy model ekonometryczny estymowany na podstawie danych panelowych ma postać<sup>2</sup>:

$$y_{it} = \alpha + X_{it}^T \beta + u_{it} \quad \text{dla } i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, \quad (1)$$

gdzie:

$i$  – oznacza obiekt (np. państwo),

$t$  – czas (np. lata),

$X_{it}^T$  – jest wektorem obserwacji na zmiennych objaśniających o  $K$  współrzędnych,

$\alpha$  – jest wyrazem wolnym niezmiennym w czasie i przestrzeni,

$u_{it}$  – jest składnikiem losowym rozdzielonym na dwie grupy,  $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ ,  $\mu_i$  – odzwierciedla nieobserwowalny i nieuwzględniony w równaniu regresji efekt wynikający wyłącznie z przynależności do  $i$ -tej grupy,

$v_{it}$  – pozostała część składnika losowego.

W przypadku, gdy liczebność obiektów w próbie jest duża, stosowanie powyższych metod jest dyskusyjne, gdyż wymaga wprowadzenia do równania regresji dodatkowych zmiennych sztucznych z czym wiąże się utrata stopni swobody.

Gdy dla posiadanych danych nie wzrasta dodatkowo liczebność obserwacji po czasie, estymatory  $\alpha$  i  $\mu$  stają się niezgodne. Problem ten rozwiązujemy zakładając, że  $\mu_i$  jest zmienną losową, czyli np., że  $u_j = Z_{\mu} \mu_j + v_j$ . W tym przypadku mamy do czynienia z modelem z dekompozycją składnika losowego. Podobnie możemy postąpić również w przypadku modelu dwuczynnikowego gdzie  $u_j = Z_{\mu} \mu_j + Z_{\lambda} \lambda + v_j$ .

Posiadanie danych zbilansowanych umożliwia, poza wspomnianą dekompozycją składnika losowego lub wyrazu wolnego, różnicowanie wartości pa-

<sup>1</sup> Z ujęciem takim można się spotkać w: Radosevic, Auriol (2001) i innych pracach tej grupy autorów.

<sup>2</sup> Szerzej na ten temat: Dańska (2000).

rametrów strukturalnych dla poszczególnych zmiennych w próbie<sup>3</sup>. Zakłada się, iż na wartość parametru składa się wartość typowa dla wszystkich obiektów, i wartość charakterystyczna dla indywidualnego obiektu:

$$Y_i = X_i\beta_i + \xi_i, \quad (2)$$

stąd jeżeli:  $\beta_i = \beta + v_i$  to:

$$Y_i = X_i\beta_i + (\xi_i + X_i v_i) = X_i\beta + w_i. \quad (3)$$

W procesie estymacji wykorzystywane są metody podobne do dekompozycji składnika losowego. Metody te pozwalają obok wyselekcjonowania poziomów startu danego zjawiska, wykazać indywidualne cechy poszczególnych obiektów zgromadzonych w próbie. W naszym przypadku, ze względu na dużą złożoność obliczeń, a przede wszystkim problemy wynikające z posiadania próby niezbilansowanej, metoda ta nie może zostać wykorzystana.

W modelowaniu przy zastosowaniu danych przestrzenno-czasowych ze względu na wyodrębnienie zmiennych sztucznych odpowiadających za efekty specyficzne dla poszczególnych obiektów stosuje się szereg testów umożliwiających sprawdzenie ich łącznej istotności. Najpopularniejszymi są test F (Chowa), test mnożnika Lagrange'a (Test Breuscha-Pagana), test Hausmana.

W przypadku posiadanych przez nas danych mamy dwa wyjścia: zbudować model na podstawie próby wymieszanej (przestrzenno-czasowej) niezbilansowanej (gdzie dla różnych obiektów długość szeregów czasowych jest różna), zbudować model na podstawie próby zbilansowanej – uzupełniając dane metodą odcinkową lub za pomocą oszacowanych równań trendu.

W zasadzie częstokroć okazuje się, iż parametry będące fragmentami dekomponowanego wyrazu wolnego, w niektórych przypadkach są nieistotne statystycznie. Takiej sytuacji, wprowadzamy w miejsce istotnych parametrów zmienne zero-jedynkowe i postępujemy jak w przypadku typowych modeli ekonometrycznych.

Proponowany w pracy model przestrzenno-czasowy poddany estymacji, pierwotnie miał wykorzystywać dane dotyczące 22 państw w okresie 19 lat: 1981-1999. Wybrane państwa są europejskimi członkami OECD. Dla tychże państw spodziewano się porównywalnych danych statystycznych niezbędnych do oszacowania parametrów proponowanego modelu. Mimo dużego nacisku na gromadzenie porównywalnych informacji w ostatnich latach, dane te dla niektórych krajów (np.: Norwegia, Grecja) są gromadzone w większych odstępach niż roczne, co w sposób drastyczny zawęża próbę i utrudnia tym samym porównawczą analizę czasową. W przypadku nowych członków OECD jak Polska, Czechy czy Węgry interesujące nas dane dotyczą okresu od momentu ich przyjęcia.

---

<sup>3</sup> Greene (2000).

### 3. Budowa przestrzenno-czasowego modelu aktywności innowacyjnej

W przypadku budowy modelu przestrzenno-czasowego pierwszym etapem jest badanie heteroskedastyczności przestrzennej dla wszystkich wziętych pod uwagę państw<sup>4</sup>.

W etapie przygotowawczym zaproponowano model korekty błędem oparty na danych dotyczących 22 państw. Model ten – będący jedynie próbą - zbudowany był tylko z jednego równania:

$$\begin{aligned} \Delta Nlf_{it} = & \alpha_{i0} + (\alpha_1 - 1)(Nlf_{t-1} - \delta_1 GDPlf_{t-1} - \delta_2 Glf_{t-1} - \delta_3 Rlf_{t-1}) + \\ & + \gamma_1 \Delta GDPlf + \gamma_2 \Delta Glf + \gamma_3 \Delta Rlf + \xi_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

$Nlf_{it}$  - liczba patentów zgłoszonych przez nie rezydentów w przeliczeniu na tysiąc aktywnych zawodowo w danym okresie  $t$  dla danego kraju  $i$ ,

$Plf_{it}$  - liczba patentów zgłoszonych przez rezydentów w przeliczeniu na tysiąc aktywnych zawodowo w danym okresie  $t$  dla danego kraju  $i$ ,

$Glf_{it}$  - wydatki brutto na działalność B + R w danym okresie  $t$  dla  $i$  - tego kraju w przeliczeniu na tysiąc aktywnych zawodowo,

$GDPlf_{it}$  - wartość PKB w cenach stałych USD z roku 1995 według parytetu siły nabywczej w przeliczeniu na tysiąc osób aktywnych zawodowo dla  $i$  - tego kraju w okresie  $t$ ,

Otrzymany model charakteryzuje się dopasowaniem na poziomie:  $R^2 = 0,68$ , przy braku autokorelacji, oraz istotności zaledwie części dekomponowanych wyrazów wolnych. Dla pozostałych (nieistotnych) stosujemy ogólny wyraz wolny. Warto nadmienić, iż zastosowanie konstrukcji ECM w większości przypadków uwalnia nas od ewentualnej niestacjonarności badanych procesów i dodatkowo nie eliminuje wnioskowania zakresie istnienia zależności o charakterze długookresowym<sup>5</sup>.

W wyniku otrzymanych rezultatów dotyczących faktycznie badania chłonności innowacyjnej, zaproponowano budowę kolejnego modelu. Zaproponowany model składa się z czterech równań rekurencyjnych. Pierwsze uzależnia poziom wzrostu gospodarczego mierzonego PKB od wysokości nakładów inwestycyjnych na środki trwałe w okresie przeszłym, poziomu aktywności innowacyjnej w okresie przeszłym i liczby mieszkańców.

Drugie równanie opisuje wpływ wzrostu gospodarczego na wydatki na działalność B+R. Jako zmienną endogeniczną potraktowano wydatki brutto na działalność badawczo rozwojową.

<sup>4</sup> Por. Zeliaś (1991).

<sup>5</sup> Por. Welfe A. (2000).

Tabela 1. Wartości ocen parametrów strukturalnych wraz z poziomami odrzucenia hipotez o istotności

Parametr	ocena	statystyka t	poziom odrzucenia
$\alpha_{i0}$	1.20	2.01	0.045
$\alpha_{1-1}$	-32.77	-3.14	0.002
$\delta_1$	-1163.63	-3.02	0.003
$\delta_2$	67.68	3.14	0.002
$\delta_3$	0.24	13.60	0.000
$\gamma_2$	-15.19	-3.23	0.001
$\gamma_3$	9.27	2.04	0.042
Austria	2.90	2.48	0.014
Dania	3.21	2.53	0.012
Finlandia	3.03	2.99	0.003
Niemcy	2.75	1.92	0.056
Islandia	5.92	5.59	0.000
Irlandia	2.12	1.78	0.075
Norwegia	2.16	2.03	0.044
Słowenia	3.75	3.12	0.002

Źródło: obliczenia własne.

Trzecie równanie obrazuje wpływ kapitału rzeczowego i ludzkiego na potencjalną chłonność innowacyjną. Za wskaźnik potencjalnej chłonności innowacyjnej będący zmienną endogeniczną, przyjęto liczbę patentów zgłoszonych przez nie rezydentów w roku t na liczbę osób aktywnych zawodowo.

Równanie czwarte opisuje aktywność innowacyjną mierzoną liczbą patentów zgłoszonych przez rezydentów w przeliczeniu na liczbę osób aktywnych zawodowo. Jako zmienne objaśniające zaproponowano wskaźnik potencjalnej chłonności innowacyjności wyznaczony w równaniu drugim, zasób siły roboczej mierzonej liczbą osób aktywnych zawodowo oraz strukturę wydatków na działalność B+R przedstawioną jako udział wydatków ze strony przedsiębiorstw na działalność B+R w wydatkach na działalność B+R ogółem (tylko ta zmienna nie została odniesiona do liczby osób aktywnych zawodowo).

W modelu jako punkt odniesienia zaproponowano liczbę osób aktywnych zawodowo. Model ten powinien dostarczyć informacji dotyczących aktywności innowacyjnej części społeczeństwa odpowiedzialnej w największym stopniu za tworzenie innowacji jak również tworzenie PKB. To właśnie ludność aktywna zawodowo bierze czynny udział w działalności B+R, oraz w dalszym etapie procesu innowacyjnego – produkcji. Model ten w zasadzie zbudowany powinien być w oparciu o funkcję logistyczną, która w największym przybliżeniu obrazuje badane zależności. Ze względu jednak na ułatwienia procesu estymacji i weryfikacji, założono – zgodnie z prawdą – iż państwa badane znajdują się obecnie w fazie pierwszej, czyli rosnącej potęgowej funkcji logistycznej. Model

został więc przybliżony funkcjami potęgowymi i po zlogarytmowaniu obustronnym ma postać:

$$\begin{aligned}
 \log GDP_{it} &= \alpha_{i1} + \beta_1 \log P_{it-1} + \beta_2 \log INW_{it-1} + \beta_3 \log P_{it-1} + \xi_{it} \\
 \log G_{it} &= \alpha_{i2} + \beta_4 \log GDP_{it} + \xi_{it} \\
 \log N_{it} &= \alpha_{i3} + \beta_5 \log G_{it} + \beta_6 \log R_{it} + \xi_{it} \\
 \log P_{it} &= \alpha_{i4} + \beta_7 \log N_{it} + \beta_8 \log L_{it} + \beta_9 \log BG_{it} + \xi_{it}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Model został rozszerzony o następujące zmienne:

$INW_{it-1}$  – inwestycje brutto na środki trwałe w przeliczeniu na tysiąc aktywnych zawodowo w danym okresie  $t-1$  dla danego kraju  $i$ ,

$P_{it}$  – liczba mieszkańców w tys. w danym okresie  $t$  dla danego kraju  $i$ ,

$R_{it}$  – liczba badaczy w sektorze B + R w przeliczeniu na tysiąc aktywnych zawodowo w danym okresie  $t$  dla  $i$  – tego kraju,

$L_{it}$  – liczba osób aktywnych zawodowo w tysiącach w danym okresie  $t$  dla  $i$  – tego kraju,

$BG_{it}$  – udział sektora przedsiębiorstw w finansowaniu sektora B+R w danym okresie  $t$  dla  $i$  – tego kraju,

W powyższych ujęciach dotyczących modelowania przestrzenno-czasowego założono, iż:

1. Aktywność innowacyjna dla poszczególnych krajów przejawia się w liczbie patentów zgłoszonych na ich terytorium przez rodzimych wynalazców.
2. Aktywność patentowa uzależniona jest od nakładów na działalność B+R, pochodzących głównie z sektora przedsiębiorstw, od liczby osób kształtujących produkt krajowy brutto oraz od poziomu potencjalnej chłonności innowacyjnej określonej przez transfer wiedzy naukowo-technicznej wyrażony liczbą patentów zgłoszonych na terytorium danego państwa przez osoby z zewnątrz.
3. Wydatki na działalność B+R są stymulowane w sposób bezpośredni przez wzrost PKB.
4. Potencjalna chłonność innowacyjna uzależniona jest od możliwości przetwarzania wiedzy, a więc od zasobów kadry naukowo - badawczej oraz od możliwości finansowania wydatków na działalność B+R.
5. Dynamika rozwoju aktywności patentowej w różnych państwach jest zbliżona co do tempa wzrostu, jednakże jej „punkt startu” jest odmienny dla gospodarek o różnym stopniu rozwoju. Wynika to z potencjału gospodarczego i chłonności wobec wiedzy naukowo – technicznej płynącej z zewnątrz.

W oparciu o powyższe założenia zbudowano również model oparty na konstrukcji ECM.

#### 4. Zakończenie

Zaprezentowane powyżej metody wykorzystania danych o charakterze przestrzenno-czasowym wskazują na bardzo dużą ich użyteczność. Możliwości wykorzystania tego typu informacji, ze względu na większą częstość występowania danych dla zestawień różnych grup państw czy regionów są nie do zbagatelizowania. W przypadku posiadania danych o charakterze przestrzenno-czasowym, w procesie wstępnego prognozowania można wykorzystać również metodę prognozowania w oparciu o analogie przestrzenno-czasowe.

Wstępne wyniki modeli budowanych według prezentowanej konstrukcji dały bardzo dobre rezultaty. Ponadto zastosowanie dynamicznych metod ekonometrycznych – w przypadku ECM – pozwala na wskazanie zarówno krótkoterminowych, jak i długoterminowych zależności pomiędzy badanymi kategoriami.

#### Literatura

- Dańska, B. (2000) *Przestrzenno-czasowe modelowanie zmian w działalności produkcyjnej w Polsce, Zastosowanie modeli panelowych*, Absolwent, Łódź
- Greene, W. H. (2000) *Econometric Analysis*, Prentice –Hall, Inc, London,
- Radosevic, S., Auriol, L. (2001) Patterns of Restructuring in Research, Development and Innovation Activities in Central and Eastern European Countries: an Analysis Based on S&T Indicators, School of Slavic and Eastern European Studies, University College London, BA half course unit, London
- Doornik, J. A. (2001), *Ox. An Object-Oriented Matrix Language*, Timberlake Consultants Press, London.
- Tintner, G. (1952), *Econometrica*, John Wiley & Sons, New York.
- Welfe, A. (2000) *Gospodarka Polski w okresie transformacji*, PWE, Warszawa
- Zeliaś, A. (1991) *Ekonometria przestrzenna*, PWE, Warszawa.