

Dorota Perło, Ewa Roszkowska

Uniwersytet w Białymstoku

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD KLASYFIKACJI DO ANALIZY ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU¹

Streszczenie: Celem artykułu jest analiza porównawcza metody modelowania miękkiego oraz metody TOPSIS wykorzystanych do zbadania poziomu zrównoważonego rozwoju województw w Polsce. Modelowanie miękkie umożliwia badanie powiązań między zmiennymi nieobserwowalnymi. Na podstawie teorii zrównoważonego rozwoju został zbudowany model pokazujący zależności między gospodarką, społeczeństwem a środowiskiem oraz ich wpływ na zrównoważony rozwój. Przeprowadzona analiza wyników wskazuje optymalne proporcje pomiędzy poziomem rozwoju gospodarczego, społecznego i środowiskowego, które umożliwią przyszłym pokoleniom korzystanie z istniejących zasobów i walorów.

Zastosowanie metody modelowania miękkiego oraz metody TOPSIS, na podstawie tego samego zestawu indykatorów, umożliwiło dokonanie klasyfikacji województw. W efekcie końcowym porównano rezultaty grupowania województw uzyskane za pomocą wybranych metod. W opracowaniu wykorzystano dane statystyczne za 2008 rok.

Słowa kluczowe: modelowanie miękkie, modelowanie ekonometryczne, TOPSIS, rozwój zrównoważony.

Wprowadzenie

Teoria zrównoważonego rozwoju zakłada, że rozwój gospodarczy obecnego pokolenia nie powinien odbywać się kosztem wyczerpywania zasobów nieodnawialnych [Berg i Nijkamp 1991, s. 11–33, za: J. Godlewska 2006, s. 5]. Wdrażanie koncepcji zrównoważonego rozwoju w praktyce wymaga informacji o stanie jej

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2010 jako projekt badawczy nr N N111 430137.

realizacji, dynamice przekształceń czy powiązaniach pomiędzy poszczególnymi składowymi. Podstawowym narzędziem monitoringu zrównoważonego rozwoju są wskaźniki trwałego i zrównoważonego rozwoju, które większość naukowców klasyfikuje według trzech wymiarów: gospodarczego, społecznego oraz środowiskowego [Piontek 2001, s. 19; Śleszyński 2007, s. 11–33; Borys 2005].

Celem artykułu jest analiza porównawcza metody modelowania miękkiego oraz metody TOPSIS wykorzystanych do zbadania poziomu zrównoważonego rozwoju województw w Polsce. Pomimo że wybrane metody charakteryzują się odmiennymi założeniami metodologicznymi, pozwalają na dokonanie klasyfikacji obiektów.

Modelowanie miękkie umożliwia badanie powiązań między zmiennymi nieobserwowalnymi, czyli zmiennymi, które nie mają jednoznacznych odpowiedników wśród zmiennych mierzalnych. Model miękkiej składa się z dwóch części: z modelu wewnętrznego i zewnętrznego. Jest estymowany metodą PLS (*partial least squares*), za pomocą której szacuje się jednocześnie parametry obydwu modeli. W wyniku estymacji, oprócz tych parametrów, otrzymuje się również oszacowania wartości zmiennej ukrytej, które można traktować jako miarę syntetyczną, wykorzystywaną między innymi do klasyfikacji obiektów.

Metoda TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) polega na wyznaczeniu odległości każdego obiektu wielocechowego od wzorca i antywzorca rozwoju, a następnie liniowym uporządkowaniu tych obiektów. W artykule wykorzystano klasyczną metodę TOPSIS. Jako dane wejściowe cech badanych obiektów wzięto pod uwagę wskaźniki liczbowe.

Ogólnej oceny poziomu zrównoważonego rozwoju, jak również w rozbiciu na sferę gospodarczą, społeczną i środowiskową, dokonano na podstawie odpowiednio dobranych agregatów wskaźników szczegółowych. Dokonanie klasyfikacji województw było możliwe dzięki zastosowaniu metody modelowania miękkiego oraz metody TOPSIS, na podstawie tego samego zestawu indyktorów.

1. Metody klasyfikacji wykorzystane do analizy zrównoważonego rozwoju

1.1. Modelowanie miękkie

Twórcą modelowania miękkiego jest Herman Wold [Wold 1980]. Nazwa modelu miękkiego jest związana z cechami modelu ekonometrycznego i jego zmiennymi oraz z założeniami statystycznymi pozwalającymi na zastosowanie odpowiedniej procedury statystycznej [Rogowski 1990]. Zmienne modelu mogą być obserwowalne – obserwacja zmiennej jest wówczas liczbą, lub nieobserwowalne. Powodem niemierzalności zmiennej jest brak ścisłej definicji pojęcia, brak odpowiednika terminu teoretycznego w świecie empirycznym lub niemożliwość

zaobserwowania danej wielkości. Takie zmienne są zazwyczaj zastępowane zbiorem wskaźników, nazywanych indykatorami. Jest to pierwszy stopień miękkości. Drugi jej stopień polega na braku ścisłych założeń statystycznych. Przy stosowaniu metody największej wiarygodności należy znać (lub założyć) rozkład prawdopodobieństwa zmiennych modelu. Natomiast przy modelowaniu opartym na metodzie najmniejszych kwadratów – taka wiedza nie jest wymagana. Wystarczą słabe (miękkie) założenia dotyczące korelacji (właściwie nieskorelowania) pewnych zmiennych.

Każdy model miękki składa się z dwóch części: modelu wewnętrznego (teoretycznego) oraz zewnętrznego (miary). Obydwa są ze sobą powiązane, tzn. obydwie jednocześnie są wykorzystywane w procesie estymacji parametrów. Pojęcia poznaje się poprzez ich definicje (model wewnętrzny) oraz poprzez wzajemne ich oddziaływanie (model zewnętrzny). Pierwszy z wymienionych modeli opisuje relacje zachodzące między zmiennymi nieobserwowalnymi. Zastosowanie analizowanej metody wymaga założenia, że relacje wewnętrzne w modelach miękkich mają charakter liniowy. Niech zmienne ukryte $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ będą endogeniczne, natomiast $\xi_{n+1}, \xi_{n+2}, \dots, \xi_k$ (gdzie $k > n$) – z góry ustalone. Wówczas relacje wewnętrzne można zapisać w następujący sposób:

$$[\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n] = [\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n] B + [\xi_{n+1}, \xi_{n+2}, \dots, \xi_k] \Gamma + V, \quad (1)$$

przy czym macierz $B = [b_{ij}]$ parametrów strukturalnych związanych ze zmiennymi endogenicznymi jest macierzą kwadratową o wymiarach $n \times n$, której wszystkie elementy na głównej przekątnej są równe zero. Macierz $\Gamma = [\gamma_{ij}]$ parametrów strukturalnych związanych ze zmiennymi z góry ustalonymi jest wymiaru $(k - n) \times n$, a $V = [v_{ij}]$ jest n -wymiarowym wektorem składników losowych o zerowych wartościach oczekiwanych i skończonych wariancjach. Zakłada się, że składnik losowy j -tego równania v_j ($j = 1, 2, \dots, n$) jest nieskorelowany ze zmiennymi objaśniającymi tego równania. Na podstawie zależności (1) j -te równanie relacji wewnętrznej jest następujące:

$$\begin{aligned} \xi_j = & b_{j1}\xi_1 + b_{j2}\xi_2 + \dots + b_{j(j-1)}\xi_{j-1} + b_{j(j+1)}\xi_{j+1} + \dots + b_{jn}\xi_n + \\ & + \gamma_{j1}\xi_{n+1} + \gamma_{j2}\xi_{n+2} + \dots + \gamma_{jk}\xi_k + v_j. \end{aligned} \quad (2)$$

Otrzymany model wewnętrzny jest wielorównaniowym modelem liniowym, przy czym każda ze zmiennych w nim występujących jest zmienną ukrytą (*latent variables*).

Drugi model – model miary pokazuje związki między zmiennymi ukrytymi a ich indykatorami. W przypadku modelu miękkiego przyjmuje się, że zmienne ukryte są kombinacjami liniowymi swoich indykatorów (są to tzw. relacje wagowe),

$$\forall_{j=1, \dots, k} \quad \forall_{t=1, \dots, T} \quad \zeta_{jt} = \sum_{i=1}^{n_j} w_{ij} x_{ijt}, \quad (3)$$

gdzie:

- ζ_{jt} – j -ta wartość zmiennej ukrytej ζ_j ,
- x_{ijt} – t -ta wartość zmiennej obserwowalnej x_{ij} , czyli i -tego indykatora j -tej zmiennej ukrytej,
- T – liczba badanych obiektów dla danych przekrojowych lub momentów obserwacji dla szeregów czasowych.

Dana jest również relacja opisująca siłę odzwierciedlenia zmiennej nieobserwowalnej przez jej indykator,

$$\forall_{j=1, \dots, k} \quad \forall_{t=1, \dots, T} \quad x_{ijt} = p_{ij0} + p_{ij} \zeta_{jt} + u_{ijt}, \quad (4)$$

gdzie

- p_{ij0} – wyraz wolny relacji,
- p_{ij} – ładunek czynnikowy mierzący siłę „odbijania” zmiennej ukrytej ζ_j przez jej i -ty indykator x_{ij} ,
- u_{ij} – składnik losowy o zerowej wartości oczekiwanej, spełniający następujące założenia: brak autokorelacji, są nieskorelowane ze zmiennymi ukrytymi oraz występuje brak skorelowania między równaniami.

Zmienne nieobserwowalne można definiować dwoma sposobami: dedukcyjnie i indukcyjnie. W zależności od podejścia otrzymuje się różnice w sposobie i w wynikach estymacji. W określaniu dedukcyjnym zakłada się, że zmienna ukryta, jako pojęcie teoretyczne, jest punktem wyjścia do poszukiwania danych empirycznych (przejście od pojęć teoretycznych do indykatorów), co oznacza, że jest to zmienna pierwotna w stosunku do danego indykatora. Wskaźniki tego typu zmiennych nieobserwowalnych nazywa się odbijającymi (odzwierciedlającymi). Indykatory odbijające, z założenia, powinny charakteryzować się wysoką korelacją między sobą, dlatego przy doborze zmiennych należy kierować się względami merytorycznymi, a nie opierać się na klasycznych metodach doboru. Metody klasyczne zakładają bowiem niską zależność między zmiennymi objaśniającymi [Kuszeński 2000, s. 14–16]. W drugim wypadku (przejście od zmiennych obserwowalnych do ukrytych) mówi się o definiowaniu indukcyjnym, a indykatory nazywa się tworzącymi. Te z kolei cechuje niska korelacja, dlatego przy doborze zbioru wskaźników korzysta się z metod tradycyjnych.

Model miękki jest szacowany częściową metodą najmniejszych kwadratów PLS (*partial least squares*). Estymacja modelu miękkiego odbywa się w trzech następujących etapach:

- iteracyjne oszacowanie wag i wartości zmiennych ukrytych,
- szacowanie parametrów modelu wewnętrznego i zewnętrznego (ładunków czynnikowych),
- szacowanie wyrazów wolnych relacji wewnętrznych i zewnętrznych.

Oznacza to, że w metodzie tej szacuje się jednocześnie parametry modelu miary i modelu teoretycznego. W wyniku estymacji, oprócz tych parametrów, otrzymuje się również oszacowania wartości zmiennej ukrytej, które można traktować jako miarę syntetyczną. Wielkości te zależą nie tylko od relacji zewnętrznych, ale również od założonych w modelu wewnętrznym związków między zjawiskami złożonymi. Proces poznania jest uzależniony od opisu teoretycznego. Oszacowania zmiennych nieobserwowalnych nie mają interpretacji merytorycznej, ale można interpretować zmiany ich wartości. Jeżeli estymatory wag i ładunków czynnikowych dla indykatorów będących stymulantami danej zmiennej obserwowalnej są dodatnie, a dla będących destymulantami ujemne, to większa wartość tej zmiennej wskazuje na wyższy poziom badanego zjawiska na danym obiekcie. Interpretując kolejność tych liczb, dokonuje się analizy porównawczej.

Przed przystąpieniem do analizy wyników porządkowania otrzymanych na podstawie modelu miękkiego, należy dokonać jego weryfikacji. Na początku, podobnie jak w klasycznym modelu ekonometrycznym, weryfikacji merytorycznej, a dopiero później statystycznej. Oceny parametrów relacji zewnętrznych i wewnętrznych muszą być zgodne z przyjętym opisem teoretycznym. W celu sprawdzenia jakości modelu miękkiego można posłużyć się miernikami należącymi do „klasyki” ekonometrii, traktując oszacowane wartości zmiennych ukrytych jako wartości zaobserwowane w rzeczywistości. W ten sposób wyznacza się kwadraty współczynników korelacji wielorakiej (R^2) czy też na przykład odchylenia standardowe estymatorów parametrów. Innymi słowy, obserwuje się stopień dopasowania modelu wewnętrznego do oszacowanych zmiennych nieobserwowalnych.

Własności statystyczne modelu miękkiego sprawdza się głównie na podstawie testu Stone'a-Geissera (test S-G), który jest miarą dokładności predykcji dokonanej na podstawie modelu w stosunku do predykcji „trywialnej” oraz metodą tzw. cięcia Tuckeya [Rogowski 1990]. Są to metody specyficzne dla modelowania miękkiego. Test S-G rozpoczyna się od wyboru zmiennej ξ_j ($j = 1, \dots, k$), dla której tworzy się macierz $Z_j = [z_{ij}]$ wystandaryzowanych obserwacji indykatorów tej zmiennej. Macierz ma wymiar $n_j \times T$. Liczba jej elementów numerowanych kolumnami wynosi $n_j \cdot T$. Idea testu S-G polega na tym, że „zasłania się”, rozpoczynając od pierwszego, co L -ty wyraz macierzy Z_j i zamiast nich wstawia się bądź średnią arytmetyczną pozostałych obserwacji danego indykatora, bądź też wartość wynikającą z trendu². Następnie dla tak uzyskanych danych szacu-

² Liczbę L wybiera się arbitralnie; nie może ona być dzielnikiem wymiarów macierzy Z_j .

je się model metodą PLS i na tej podstawie wyznacza się prognozy zasłoniętych obserwacji. Operację zasłaniania elementów macierzy Z_j powtarza się, zaczynając od elementu drugiego, potem trzeciego itd. aż do elementu L . Zbiór wszystkich „skreślonych” w ten sposób elementów macierzy Z_j , począwszy od p -tego ($p = 1, \dots, L$) elementu oznacza się symbolem U_p . W każdym kroku uzyskuje się prognozy „skreślonych” obserwacji. W opisanej procedurze każda obserwacja dowolnego indykatora wybranej zmiennej ukrytej jest prognozowana dokładnie jeden raz. Na tej podstawie konstruuje się trzy typy mierników testu Stone’a-Geissera:

$$Q = 1 - \frac{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - z_{it}^*)^2 : z_{it} \in U_p \} \right)}{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - \bar{z}_{it})^2 : z_{it} \in U_p \} \right)}, \quad (5)$$

$$\forall_{m=1, \dots, n_j} Q_m = 1 - \frac{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - z_{it}^*)^2 : z_{it} \in U_p \wedge i = m \} \right)}{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - \bar{z}_{it})^2 : z_{it} \in U_p \wedge i = m \} \right)}, \quad (6)$$

$$\forall_{s=1, \dots, T} Q_s = 1 - \frac{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - z_{it}^*)^2 : z_{it} \in U_p \wedge t = s \} \right)}{\sum_p \left(\sum \{ (z_{it} - \bar{z}_{it})^2 : z_{it} \in U_p \wedge t = s \} \right)}, \quad (7)$$

gdzie

z_{it} – element macierzy Z_j ($(n_j \times T)$ -wymiarowej),

z_{it}^* – prognoza „skreślonego” elementu otrzymana na podstawie szacowania modelu metodą PLS,

\bar{z}_{it} – prognoza oparta na średniej arytmetycznej lub wynikającej z trendu, czyli tzw. prognoza trywialna.

Test S-G, nazwany w ten sposób przez H. Wolda, nie jest typowym testem statystycznym, nie zawiera bowiem ani hipotez, ani statystyki, ani wartości krytycznej. Procedura badania istotności zmiennych jest zupełnie inna, stanowiąca pewnego rodzaju sprawdzian, a nie test statystyczny. Wartości testu S-G nie są ograniczone z dołu, a górne ograniczenie wynosi 1. Jeśli wartość testu jest ujemna, to model miękki ma gorszą własność predykcyjną w stosunku do prognozy trywialnej. W przypadku wartości testu równej 1 prognozy są bezbłędne, natomiast dla wartości równej 0 jakości prognozy z modelu i prognozy trywialnej są identyczne.

Należy zwrócić uwagę, że do wyznaczenia wartości testu S-G należy L razy oszacować parametry modelu miękkiego. Dla każdego parametru β relacji zewnętrznej i wewnętrznej można wyznaczyć odchylenie standardowe uzyskanych L jego estymatorów: b_1, b_2, \dots, b_L według wzoru

$$s_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L (b_l - \bar{b})^2}{L}}, \quad \text{gdzie} \quad \bar{b} = \frac{\sum_{l=1}^L b_l}{L}; \quad (8)$$

wówczas ocenę istotności parametrów modelu przeprowadza się, stosując regułę „2s”. Metoda ta jest nazywana „metodą cięć Tukeya”.

1.2. Metoda TOPSIS

Metoda TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) należy do klasycznych metod porządkowania liniowego obiektów wielocechowych [Hwang i Yoon 1981]. Polega ona na wyznaczeniu odległości każdego obiektu wielocechowego od wzorca i antywzorca rozwoju a następnie liniowym uporządkowaniu tych obiektów [Hellwig 1968, s. 307–327]. W tym przypadku metodę TOPSIS zastosowano do liniowego uporządkowania województw ze względu na zrównoważony rozwój [Wysocki 2008, s. 38–48; Łuczak i Wysocki 2006, s. 148–157].

Podstawowym narzędziem jest syntetyczny miernik osiągniętego poziomu zrównoważonego rozwoju dla województw Polski, będący funkcją agregującą wskaźniki zrównoważonego rozwoju (cechy proste). Przy wyznaczaniu wartości tego miernika wyróżnia się następujące etapy postępowania:

Etap 1. *Wybór wskaźników zrównoważonego rozwoju (cech prostych) na podstawie przesłanek merytorycznych oraz statystycznych.* Ustalone warianty i wartości wskaźników zrównoważonego rozwoju dla poszczególnych województw zestawia się w macierz danych

$$X = [x_{ik}], \quad (9)$$

gdzie:

- x_{ik} – wartość k -tego wskaźnika zrównoważonego rozwoju dla i -tego województwa,
- $i = 1, 2, \dots, n$ – liczba województw ($n = 16$),
- $k = 1, 2, \dots, m$ – liczba wskaźników zrównoważonego rozwoju.

Etap 2. Normalizacja wartości wskaźników zrównoważonego rozwoju (cech prostych), zgodnie ze wzorami:

– dla stymulant

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \min_i \{x_{ik}\}}{\max_i \{x_{ik}\} - \min_i \{x_{ik}\}}, \quad (10)$$

– dla destymulant

$$z_{ik} = \frac{\max_i \{x_{ik}\} - x_{ik}}{\max_i \{x_{ik}\} - \min_i \{x_{ik}\}}, \quad (11)$$

gdzie:

i – numer województwa ($i = 1, 2, \dots, n = 16$),

k – numer wskaźnika zrównoważonego rozwoju (cechy prostej)

($k = 1, 2, \dots, m$),

$\max_i \{x_{ik}\}$ – maksymalna wartość k -tego wskaźnika zrównoważonego rozwoju;

$\min_i \{x_{ik}\}$ – minimalna wartość k -tego wskaźnika zrównoważonego rozwoju.

Etap 3. Obliczenie odległości euklidesowej województw od wzorca rozwoju $z^+ = (1, 1, \dots, 1)$ oraz antywzorca rozwoju $z^- = (0, 0, \dots, 0)$ zgodnie ze wzorami:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^m (z_{ik} - z_k^+)^2}, \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{k=1}^m (z_{ik} - z_k^-)^2}, \quad (12)$$

dla ($i = 1, 2, \dots, n = 16$).

Etap 4. Wyznaczenie wartości syntetycznego miernika zrównoważonego rozwoju (cechy syntetycznej) zgodnie ze wzorem:

$$q_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (i = 1, 2, \dots, n = 16) \quad (13)$$

Zachodzi przy tym $0 \leq q \leq 1$. Wyższe wartości miernika q_i świadczą o wyższej pozycji w rankingu i -tego województwa ze względu na zrównoważony rozwój.

Etap 5. Uporządkowanie liniowe i klasyfikacja wyodrębnionych województw ze względu na wartość syntetycznego miernika zrównoważonego rozwoju przy wykorzystaniu średniej arytmetycznej (\bar{q}) oraz odchylenia standardowego (s_q) z wartości syntetycznego miernika zrównoważonego rozwoju:

$$\text{klasa I (poziom wysoki): } q_i \geq \bar{q} + s_q, \quad (14)$$

$$\text{klasa II (poziom średni wyższy): } \bar{q} + s_q > q \geq \bar{q}, \quad (15)$$

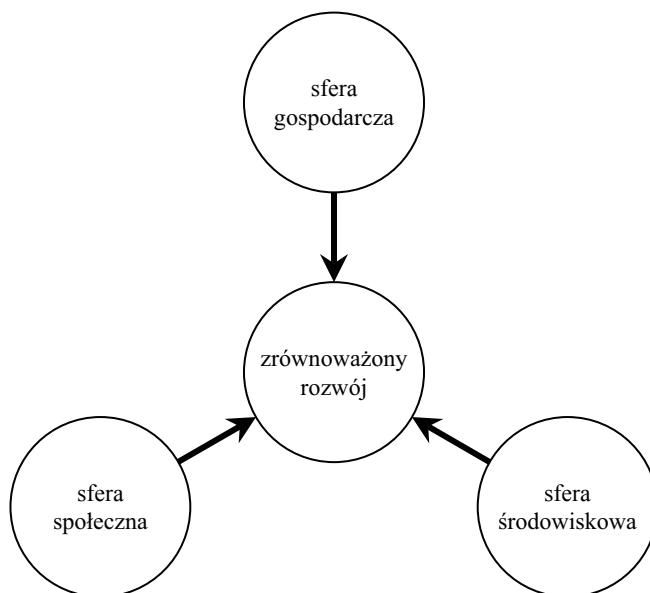
$$\text{klasa III (poziom średni niższy): } \bar{q} > q_i \geq \bar{q} - s_q, \quad (16)$$

$$\text{klasa IV (poziom niski): } q_i < \bar{q} - s_q. \quad (17)$$

2. Specyfikacja modelu miękkiego zrównoważonego rozwoju

Do oceny poziomu zrównoważonego rozwoju w sferach: gospodarczej, społecznej i środowiskowej należy wykorzystać odpowiednio wybrane zespoły wskaźników (indykatorów), które tworzą agregat cech pozwalający na strukturalny opis złożonych systemów gospodarczych. Model wewnętrzny prezentujący zależność analizowanych zmiennych przedstawia rysunek 1.

Model miękkiej został zbudowany na podstawie danych statystycznych z 2008 roku dotyczących 16 województw w Polsce³. Do analizy wybrano cztery zmienne ukryte: zrównoważony rozwój (ZR), sferę gospodarczą (GOSP), sferę społeczną (LUDN), sferę środowiskową (SROD). Założono, że na zrównoważony rozwój



Rysunek 1. Model wewnętrzny zrównoważonego rozwoju

³ Ze względu na dostępność danych statystycznych, dwa wskaźniki: produkt krajowy brutto na mieszkańca w zł i nadwyżka operacyjna brutto na mieszkańca w zł oparte są na informacjach z 2007 roku.

mają wpływ wszystkie trzy badane wymiary. Utworzony model pokazuje przede wszystkim liniowe uporządkowanie województw ze względu na zrównoważony rozwój w 2008 roku. Na podstawie zbudowanego modelu miękkiego można również dokonać analizy pozostałych zmiennych ukrytych, których uporządkowanie jest dodatkowym wynikiem modelu.

Wszystkie wybrane do analizy zmienne są zjawiskami złożonymi, które nie podlegają bezpośredniej obserwacji – są to zmienne ukryte. Założono, że zmienna ukryta jest pierwotna w stosunku do zbioru wskaźników, co oznacza przyjęcie podejścia dedukcyjnego. Zatem wszystkie indykatory występujące w modelu są indykatorami odbijającymi. Indykatory odbijające, z założenia, powinny charakteryzować się wysoką korelacją między sobą, dlatego przy doborze zmiennych należy kierować się względami merytorycznymi, a nie opierać się na klasycznych metodach doboru. Metody klasyczne zakładają bowiem niską zależność między zmiennymi objaśniającymi [Kuszewski 2000, s. 14–16].

3. Dobór wskaźników zrównoważonego rozwoju

Baza Banku Danych Regionalnych zawiera kilka tysięcy wskaźników zrównoważonego rozwoju. Analiza ich wszystkich na poziomie regionalnym byłaby nieczytelna i trudna do interpretacji. Dlatego istnieje potrzeba selekcji dostępnego zbioru i wskazania, które ze wskaźników są najistotniejsze z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju województwa. Taką diagnozę przeprowadził zespół pod kierownictwem T. Borysa⁴. Ich liczba zmniejszyła się do 246. Dla potrzeb budowy modelu wskaźniki te poddano dalszej selekcji, otrzymując zbiór 77, w tym: 25 w wymiarze gospodarczym, 25 w wymiarze społecznym i 27 w wymiarze środowiskowym. W poszczególnych wymiarach wskaźniki reprezentują następujące zagadnienia:

- w wymiarze gospodarczym: produkt krajowy brutto w regionie, przedsiębiorczość, aktywność zawodową ludności, innowacyjność, rozwój turystyki, rozwój infrastruktury i transportu, dochody do dyspozycji regionu,
- w wymiarze społecznym: demografię, zwalczanie ubóstwa, zdrowie i jego ochronę, kulturę i rekreację, poziom wykształcenia, poziom zamożności, zasoby mieszkaniowe, bezpieczeństwo publiczne,
- w wymiarze środowiskowym: jakość wód i jego ochronę, jakość powietrza i jego ochronę, aktywne formy ochrony środowiska, gospodarkę odpadami, ochronę przyrody i krajobrazu oraz gospodarowanie przestrzenią.

⁴ *Raport końcowy z realizacji pracy: „Opracowanie modelu wdrożeniowego wskaźników zrównoważonego rozwoju na poziomie wojewódzkim w ramach banku danych regionalnych” 2003, Regionalny Ośrodek Fundacji Karkonoskiej, Jelenia Góra-Warszawa, s. 19.*

Dobór wskaźników dokonywano w taki sposób, aby ostateczny zbiór określał konkretne zasady zrównoważonego rozwoju, czyli zasady odnoszące się do wymiaru⁵:

- gospodarczego, takie jak:
 - wysokiego poziomu ochrony kapitału antropogenicznego, w tym ekonomicznego,
 - prewencji, czyli likwidacji zanieczyszczeń, uciążliwości i zagrożeń u źródła,
 - przezorności,
- społecznego, takie jak:
 - wysokiego poziomu ochrony środowiska kulturowego (kapitału antropogenicznego),
 - wysokiego poziomu ochrony środowiska społecznego (kapitału ludzkiego),
 - regionalizacji (lokalności) i subsydiarności regionalizacji,
 - partnerstwa i uspołecznienia (partycypacji społecznej),
- środowiskowego, takie jak:
 - wysokiego poziomu ochrony środowiska (kapitału naturalnego),
 - równego dostępu do środowiska,
 - wydolności środowiska,
 - integracji ładów.

Ponadto przy doborze wskaźników zwracano uwagę, aby były one uniwersalne, a także określały powiązania z ochroną określonego rodzaju kapitału – przyrodniczego, antropogenicznego (w tym kulturowego i ekonomicznego) oraz ludzkiego.

Kolejnym kryterium, istotnym z punktu widzenia budowy modelu, były odpowiednie własności statystyczne wskaźników. Dokonując wyboru mierników diagnostycznych, które tworzą agregaty miar syntetycznych, kierowano się kryteriami, takimi jak [Hellwig, Siedlecka i Siedlecki 1997, s. 25; Nowak 1990, s. 24–28]:

- uniwersalność (wskaźniki mają uznaną powszechnie wagę i znaczenie),
- porównywalność (indykatory zostały przedstawione w postaci wskaźników natężenia),
- zróżnicowanie (współczynnik zmienności jest większy od 10%),
- ważność⁶,
- średnie tempo zmian powyżej 5%⁷.

⁵ Por. szerzej *Raport*, op.cit., s. 20–32.

⁶ Dobre cechy (inne ważne cechy) to cechy o rozkładzie zbliżonym do normalnego, a przynajmniej do symetrycznego – są one nazywane cechami normalnymi. Użyteczne są także cechy o zaznaczonej asymetrii prawostronnej. Są to cechy o podwyższonej selektywności, przydatne w przypadku poszukiwania obiektu najlepszego w danym zbiorze [Hellwig, Siedlecka i Siedlecki 1997, s. 10].

⁷ To kryterium było istotne z punktu widzenia doboru wskaźników wymiaru gospodarczego i społecznego.

Zbiór 77 wybranych do analizy wskaźników pomniejszono o 12 wskaźników odznaczających się zbyt niską dyspersją i o 13 wskaźników o silnej lewostronnej asymetrii⁸. Wszystkie zmienne obserwowalne były badane w układzie przekrojowym i dynamicznym. Wskaźniki wymiaru gospodarczego i społecznego, które odznaczały się niskim średnim tempem zmian, zostały wyeliminowane.

Liczba wskaźników (indykatorów) analizowanych w modelu miękkim nie może przekroczyć liczby obiektów (województw), a w związku z tym do modelu wybrano 13 indykatorów, po pięć reprezentujących wymiar gospodarczy i społeczny oraz trzy – wymiar środowiskowy. Ostateczny zestaw wskaźników, które przeszły pozytywnie wszystkie kryteria doboru, a także weryfikację merytoryczną i statystyczną modelu, zawiera tabela 1.

Tabela 4.1. Indykatory zmiennych ukrytych modelu miękkiego zrównoważonego rozwoju

Symbol	Znaczenie indykatora
G0107	Produkt krajowy brutto w zł na mieszkańca
G0207	Nadwyżka operacyjna brutto w zł na mieszkańca
G0308	Nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca
G0408	Wartość brutto środków trwałych w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca
G0508	Podmioty zarejestrowane w rejestrze REGON na 10 tys. mieszkańców
L0108	Stopa bezrobocia rejestrowanego w %
L0208	Lekarze na 10 tysięcy mieszkańców
L0308	Studenci szkół wyższych na 10 tys. mieszkańców
L0408	Liczba fundacji, stowarzyszeń i organizacji pozarządowych na 10 tys. mieszkańców
L0508	Nauczyciele akademicy na 10 tys. mieszkańców
S0108	Zanieczyszczenia pyłowe zatrzymane lub zneutralizowane w urządzeniach do redukcji w t/km ²
S0208	Zanieczyszczenia gazowe zatrzymane lub zneutralizowane w urządzeniach do redukcji w t/km ²
S0308	Nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej na mieszkańca

Wybrane zmienne mogą być stymulantami, tzn. ich wysoka wartość powinna informować o lepszej pozycji województwa w rankingu, lub destymulantami, tzn. ich niska wartość powinna informować o gorszej pozycji województwa w rankingu. Jeżeli estymatory wag i ładunków czynnikowych dla indykatorów będących stymulantami danej zmiennej obserwowalnej są dodatnie, a dla będących destymulantami ujemne, to większa wartość tej zmiennej wskazuje na wyższy poziom badanego zjawiska na danym obiekcie. Interpretując kolejność tych liczb dokonuje się analizy porównawczej. Wszystkie wybrane indykatory zmiennych ukry-

⁸ Pięć wskaźników odznaczało się zarówno słabą zmiennością, jak i silną lewostronną asymetrią.

tych GOSP i SROD są stymulantami. Jedyłą destymulantą zmiennej LUDN jest stopa bezrobocia.

4. Klasyfikacja województw ze względu na zrównoważony rozwój

4.1. Estymacja i weryfikacja modelu miękkiego zrównoważonego rozwoju

Estymacji poddano model miękki, którego schemat przedstawiono na rysunkach 2–5. Oszacowania parametrów relacji zewnętrznych zmiennych ukrytych: ZR, GOSP, LUDN i SROD oraz błędy szacunku zmiennych ukrytych przedstawiono w tabeli 2. Wyniki estymacji wag i ładunków czynnikowych, co do znaku, są zgodne z oczekiwaniami.

Na indykatory zmiennej ukrytej ZR składają się: trzy indykatory zmiennej GOSP, dwa zmiennej LUDN i trzy zmiennej SROD. Większość indykatorów zrównoważonego rozwoju to stymulanty, co oznacza, że ich wyższe wartości świadczą o wyższym poziomie rozwoju.

Wszystkie indykatory zmiennej ukrytej GOSP są stymulantami. Zdecydowanym liderem rozwoju gospodarczego jest województwo mazowieckie, w którym wartości wszystkich wskaźników zmiennej ukrytej GOSP są nie tylko najwyższe, ale również prawie dwukrotnie wyższe od średniej wartości w Polsce. Ponadto nakłady na działalność badawczo-rozwojową na mieszkańca w województwie mazowieckim są ponad 28 razy wyższe niż najniższa analogiczna wielkość w Polsce występująca w województwie lubelskim.

Pośród indykatorów zmiennej ukrytej LUDN jedynie stopa bezrobocia jest destymulantą, czyli jej niższe wartości świadczą o wyższym poziomie rozwoju. Najwyższa stopa bezrobocia występowała w 2008 roku w województwie warmińsko-mazurskim, a najniższa w województwie wielkopolskim. Na uwagę zasługuje fakt, że w latach 2004–2008 stopa bezrobocia w Polsce odznaczała się bardzo korzystną malejącą tendencją o średnim tempie zmian równym $-49,1\%$, przy czym najwyższy spadek około 60% odnotowano w województwach wielkopolskim, pomorskim i śląskim. Pozostałe zmienne obserwowalne to stymulanty.

Wszystkie indykatory zmiennej ukrytej SROD to stymulanty. Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe zatrzymane lub zneutralizowane w urządzeniach do redukcji w t/km^2 wykazują bardzo silne, ponad 100% różnicowanie. Natomiast nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska na mieszkańca odznaczają się bardzo istotną tendencją wzrostową na średnim poziomie 40% , przy czym najaktywniej w tym zakresie na rzecz środowiska działają województwa: mazowieckie (wzrost o 125%), lubuskie (wzrost o 103%) i zachodniopomorskie (wzrost o 71%).

Tabela 2. Oszacowania parametrów relacji zewnętrznych (metryka standardowa) modelu zrównoważonego rozwoju

Zmienna ukryta	Symbol	Waga	Ładunek czynnika	Współczynnik determinacji
		Błąd	Błąd	
GOSP	G0107	0,2166 <i>0,0020</i>	0,9895 <i>0,0005</i>	0,9790
	G0207	0,2144 <i>0,0018</i>	0,9892 <i>0,0002</i>	0,9785
	G0308	0,2162 <i>0,0023</i>	0,9529 <i>0,0004</i>	0,9080
	G0408	0,1880 <i>0,0058</i>	0,8384 <i>0,0020</i>	0,7030
	G0508	0,2177 <i>0,0028</i>	0,9650 <i>0,0008</i>	0,9312
LUDN	L0108	-0,5193 <i>0,0165</i>	-0,8660 <i>0,0152</i>	0,7499
	L0208	0,2025 <i>0,0170</i>	0,6253 <i>0,0123</i>	0,3910
	L0308	0,4715 <i>0,0090</i>	0,8932 <i>0,0174</i>	0,7979
	L0408	0,0192 <i>0,0047</i>	0,1366 <i>0,0506</i>	0,0187
SROD	S0108	0,5680 <i>0,0258</i>	0,8810 <i>0,0117</i>	0,7761
	S0208	0,2738 <i>0,0155</i>	0,7885 <i>0,0093</i>	0,6217
	S0308	0,3594 <i>0,0187</i>	0,7894 <i>0,0121</i>	0,6232
ZR	G0107	0,2245 <i>0,0131</i>	0,9001 <i>0,0362</i>	0,8102
	G0308	0,2218 <i>0,0183</i>	0,8984 <i>0,0625</i>	0,8072
	G0508	0,1853 <i>0,0187</i>	0,7812 <i>0,0782</i>	0,6102
	L0108	-0,1727 <i>0,0222</i>	-0,7187 <i>0,0668</i>	0,5166
	L0508	0,1161 <i>0,0171</i>	0,4848 <i>0,0638</i>	0,2350
	S0108	0,2011 <i>0,0182</i>	0,8232 <i>0,0615</i>	0,6776
	S0208	0,1015 <i>0,0292</i>	0,3968 <i>0,1047</i>	0,1574
	S0308	0,1302 <i>0,0294</i>	0,5208 <i>0,1191</i>	0,2712

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników modelu miękkiego.

Spośród pięciu indyktorów opisujących wymiar gospodarczy bardzo silną, dodatnią korelacją ze zmienną ukrytą GOSP odznaczają się: produkt krajowy brutto na mieszkańca G0105 (0,9895) oraz nadwyżka operacyjna brutto na mieszkańca G0207(0,9892) (por. tabela 2). Są to wskaźniki reprezentujące rachunki regionalne i dochody do dyspozycji regionu. Ich najwyższe wartości występują w województwie mazowieckim i są prawie 2,5 razy wyższe od analogicznej najmniejszej wartości w innych województwach w Polsce. Ponadto pozostałe wskaźniki opisujące zmienną ukrytą GOSP odznaczają się również silną dodatnią korelacją, co świadczy o wysokim znaczeniu wszystkich indyktorów opisujących wymiar gospodarczy.

Indykatory sfery społecznej charakteryzują się również silną zależnością korelacyjną ze zmienną ukrytą LUDN (por. tabela 3). Najwyższe ładunki czynnikowe występują w przypadku: studentów szkół wyższych na 10 tys. mieszkańców L0308 (0,8932), czyli reprezentanta poziomu wykształcenia oraz stopy bezrobocia L0108 (−0,8660).

Podobnie wszystkie trzy indykatory wymiaru środowiskowego wykazują silny związek korelacyjny ze zmienną ukrytą SROD.

Oszacowania parametrów relacji wewnętrznych przedstawia poniższe równanie, przy którym (w nawiasach) podano odchylenia standardowe otrzymane za pomocą cięcia Tukeya:

$$ZR = -0,4735 + 0,5793GOSP + 0,2507LUDN + 0,3535SROD,$$

$$(0,0428) \quad (0,0551) \quad (0,0445) \quad (0,0644)$$

$$R^2 = 0,9902.$$

Na podstawie wyników estymacji modelu wewnętrznego można stwierdzić, że na zrównoważony rozwój największy wpływ na wymiar gospodarczy (0,5793), następnie wymiar środowiskowy (0,3535), a najmniejszy ma wymiar społeczny (0,2507). Współczynnik determinacji kształtuje się na poziomie równym 0,9902, co oznacza bardzo wysoką jakość analizowanego modelu. Oszacowane parametry przy zmiennych GOSP, LUDN i SROD są statystycznie istotne (reguła „2s”).

Tabela 3. Test Stone’a-Geissera ogólny i dla indyktorów zmiennej ukrytej ZR z modelu zrównoważonego rozwoju

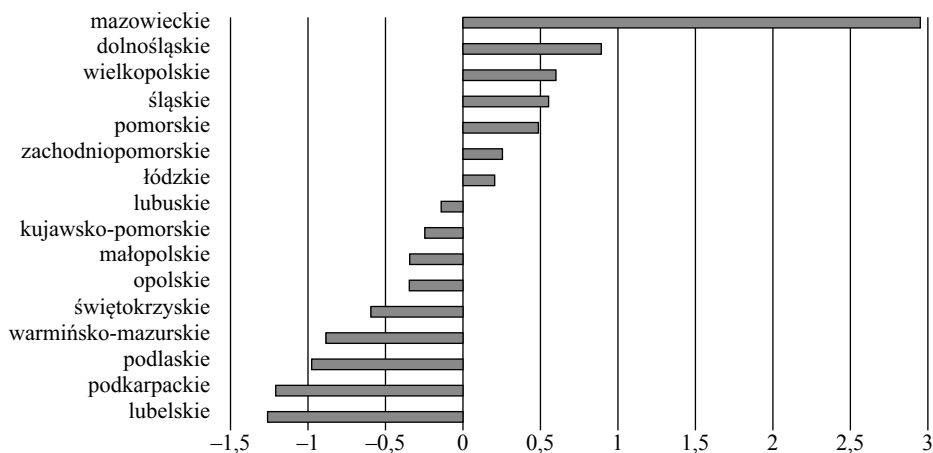
Indyktor	G0107	G0508	G0308	L0108	L0508	S0108	S0208	S0308	Ogólna wartość
Wartość testu S-G	0,6111	0,4994	0,6932	0,4554	0,1938	0,5447	0,0297	0,0493	0,821

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników modelu miękkiego.

Test Stone'a-Geissera weryfikuje model miękki pod względem jego przydatności do predykcji. Wartość prognostyczna rozważanego modelu jest dość wysoka, co ilustruje ogólny test Stone'a-Geissera dla analizowanego modelu równy 0,821 (por. tabela 3). Należy podkreślić, że model był szacowany dla danych przekrojowych i na niezbyt licznej próbie. Najlepszą jakość prognostyczną mają nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach na mieszkańca, czyli zmienna, która istotnie odzwierciedla poziom rozwoju regionu. Otrzymane wyniki należy uznać za zadowalające i w związku z tym można przejść do analizy otrzymanych oszacowań wartości zmiennych ukrytych.

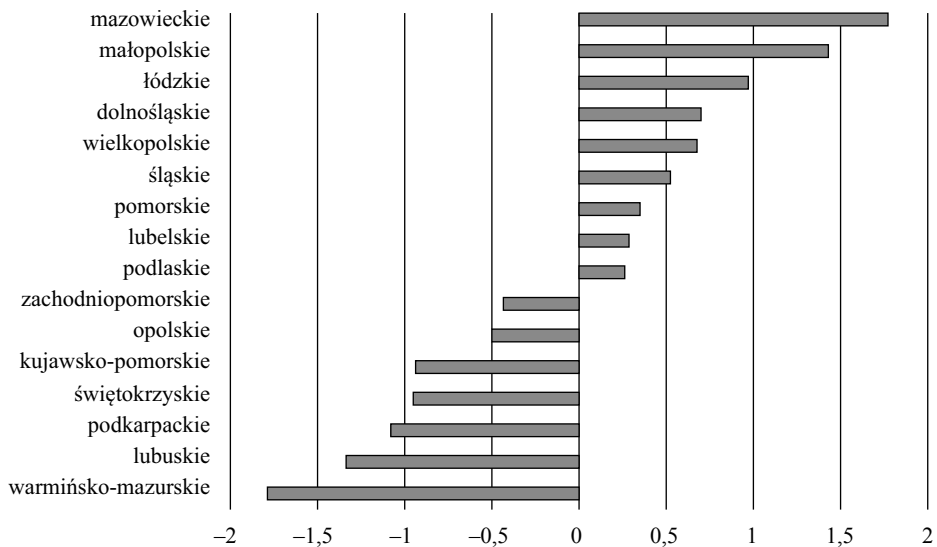
4.2. Uporządkowanie liniowe województw ze względu na zrównoważony rozwój z zastosowaniem modelowania miękkiego

Szacując model miękki metodą PLS, otrzymuje się oszacowania wartości zmiennych ukrytych, które nie mają interpretacji merytorycznej, ale można interpretować zmiany ich wartości. Otrzymuje się w ten sposób zmienną syntetyczną, która może służyć do analizy porównawczej. Na podstawie oszacowań wartości zmiennej ukrytej porządkuje się liniowo dane obiekty (por. rysunki 2–5). Zastępuje się uporządkowane nierosnąco wartości zmiennej nieobserwowalnej wartościami skali porządkowej, czyli rangami (lokatami), tj. liczbami naturalnymi od 1 do 16. Interpretując kolejność tych liczb, dokonuje się analizy porównawczej. W omawianym modelu występują oszacowania wag i ładunków czynnikowych dodatnie dla stymulant, ujemne dla destymulant, a zatem wyższa „wartość zmiennej ukrytej” informuje o wyższym poziomie rozwoju danego województwa.



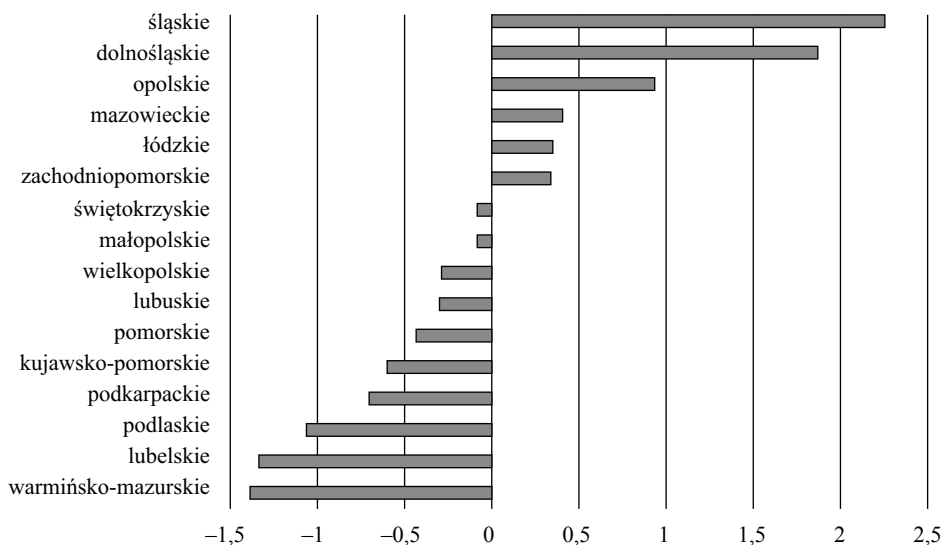
Rys. 2. Oszacowane wartości zmiennych ukrytych otrzymane metodą modelowania miękkiego – sfera gospodarcza

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników modelu miękkiego



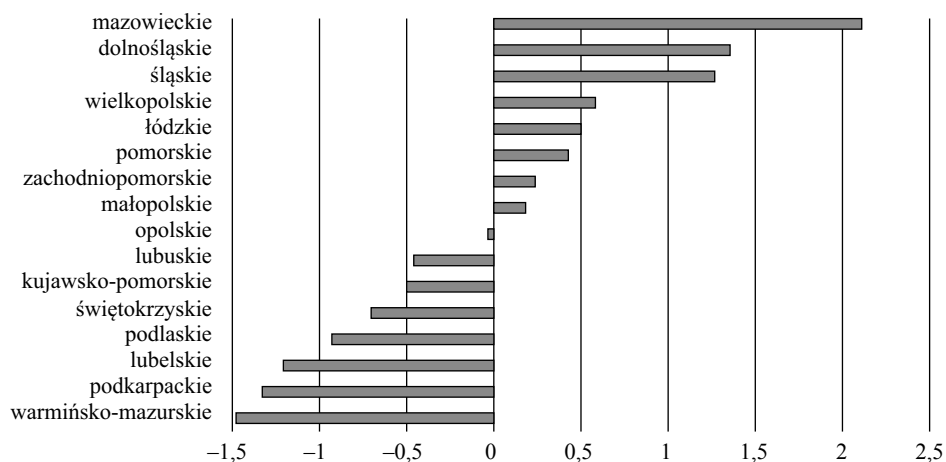
Rys. 3. Oszacowane wartości zmiennych ukrytych otrzymane metodą modelowania miękkiego – sfera społeczna

Źródło: Jak do rys. 2



Rys. 4. Oszacowane wartości zmiennych ukrytych otrzymane metodą modelowania miękkiego – sfera środowiskowa

Źródło: Jak do rys. 2



Rys. 5. Oszacowane wartości zmiennych ukrytych otrzymane metodą modelowania miękkiego – zrównoważony rozwój

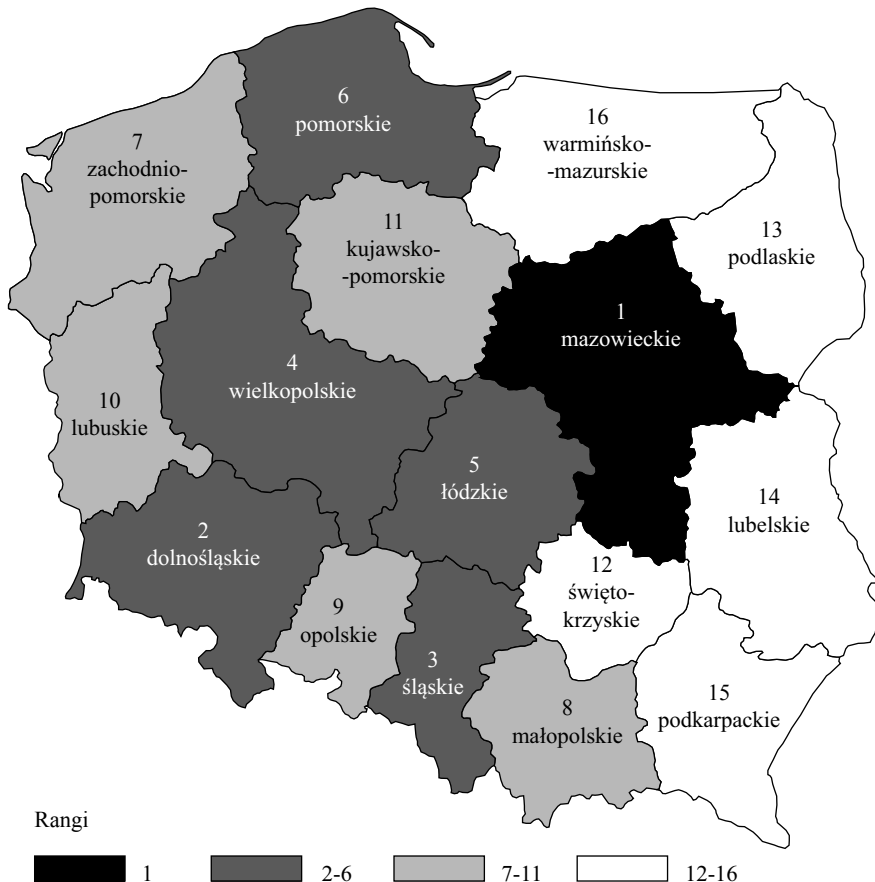
Źródło: Jak do rys. 2

Tabela 4. Uporządkowanie województw w Polsce w 2008 r. według analizowanych sfer i według poziomu zrównoważonego rozwoju

Województwo	GOSP	LUDN	SROD	ZR
Mazowieckie	1	1	4	1
Dolnośląskie	2	4	2	2
Śląskie	4	6	1	3
Wielkopolskie	3	5	9	4
Łódzkie	7	3	5	5
Pomorskie	5	7	11	6
Zachodniopomorskie	6	10	6	7
Małopolskie	10	2	8	8
Opolskie	11	11	3	9
Lubuskie	8	15	10	10
Kujawsko-Pomorskie	9	12	12	11
Świętokrzyskie	12	13	7	12
Podlaskie	14	9	14	13
Lubelskie	16	8	15	14
Podkarpackie	15	14	13	15
Warmińsko-Mazurskie	13	16	16	16

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników modelu miękkiego

Otrzymane uporządkowanie województw według zrównoważonego rozwoju w 2008 roku (oszacowane wartości zmiennych ukrytych) przedstawiają rysunki 2–5, a rangi przyporządkowane poszczególnym województwom zawiera tabela 4. Najwyższe pozycje pod względem wszystkich zmiennych nieobserwowalnych zajęły województwa: mazowieckie, dolnośląskie, śląskie i wielkopolskie. Województwa te są biegunami rozwoju. Najniższe natomiast zajęły województwa: warmińsko-mazurskie, podkarpackie, lubelskie i podlaskie. Te z kolei charakteryzuje niski poziom rozwoju regionalnego, a co za tym idzie, niski poziom produktu krajowego brutto na mieszkańca, nakładów inwestycyjnych w przedsiębiorstwach na mieszkańca oraz nadwyżki operacyjnej brutto na mieszkańca (wskaźników przedstawiających najistotniejszy wpływ na zmienną ZR w badanym modelu).



Rys. 6. Podział województw w Polsce na klasy według zmiennej ukrytej ZR wyznaczonej metodą modelowania miękkiego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników modelu miękkiego

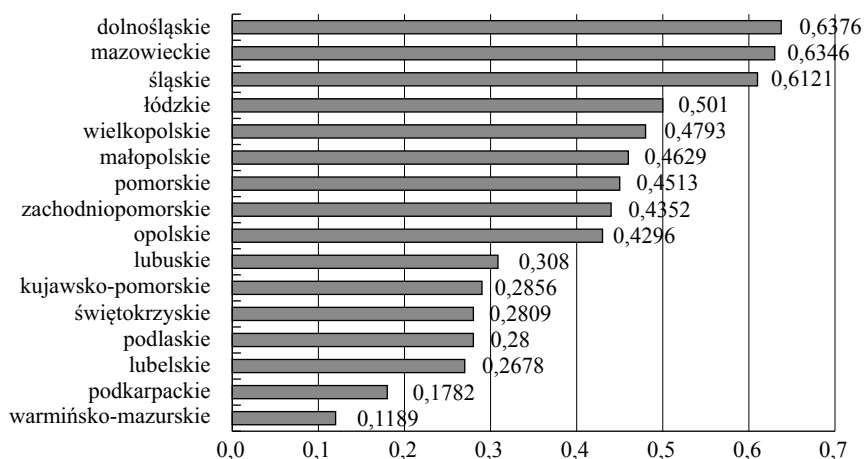
Na uwagę zasługuje to, że pozycje w rankingu poszczególnych województw pod względem wymiaru gospodarczego i społecznego są bardzo podobne (por. rysunki 2–5, tabela 4). Najbardziej stabilne pod tym względem są województwa: mazowieckie i opolskie (różnice rang są równe zero). Jednak nie ma żadnego województwa, które zajmowałoby identyczne miejsce w rankingu ze względu na trzy sfery. Wymiar środowiskowy pokazuje zupełnie inny ranking regionów niż dwa poprzednie. Pierwsze miejsca zajmują województwa: śląskie, dolnośląskie i opolskie, czyli regiony, które aktywnie działają na rzecz ochrony środowiska.

Ze względu na dość duże zróżnicowanie pozycji województw w rankingach pod względem rozwoju społecznego, gospodarczego i środowiskowego, bardzo istotne znaczenie ma kompleksowe ujęcie zrównoważonego rozwoju, poprzez zmienną niemierzalną ZR integrującą trzy analizowane wymiary (por. rysunek 6). Na podstawie wartości syntetycznych zmiennej ukrytej ZR województwa podzielono na cztery grupy:

- mazowieckie,
- dolnośląskie, śląskie, wielkopolskie, łódzkie, pomorskie,
- zachodniopomorskie, małopolskie, opolskie, lubuskie, kujawsko-pomorskie,
- świętokrzyskie, podlaskie, lubelskie, podkarpackie, warmińsko-mazurskie.

4.3. Uporządkowanie liniowe województw ze względu na zrównoważony rozwój z zastosowaniem metody TOPSIS

Ocenę zrównoważonego rozwoju oparto na tym samym zestawie wskaźników, który wykorzystano w metodzie modelowania miękkiego. W kolejnych etapach procedury wyznaczania syntetycznych mierników zrównoważonego rozwoju



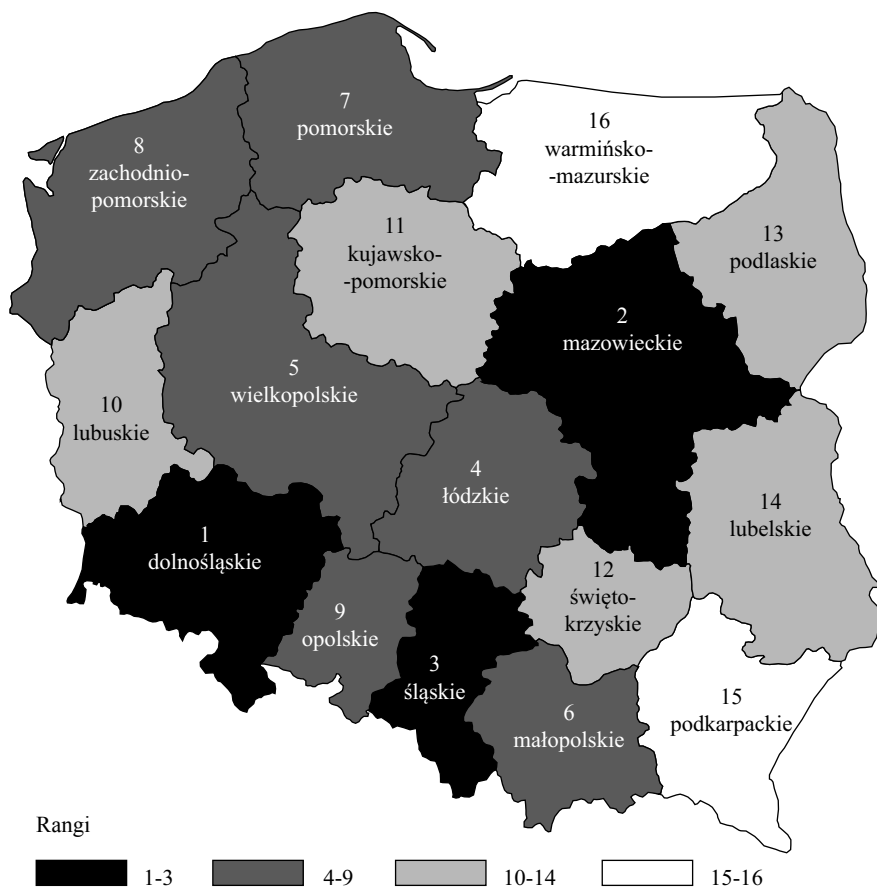
Rys. 7. Wartość syntetycznego miernika ZR otrzymanego metodą TOPSIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS

województw Polski destymulantę L0108 przekształcono w stymulantę, wartości wskaźników zrównoważonego rozwoju unormowano, a następnie zagregowano za pomocą metody TOPSIS. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 7.

Na podstawie obliczonych wartości mierników syntetycznych wyodrębniono cztery klasy typologiczne województw o różnym stopniu zrównoważonego rozwoju. Wyniki prezentuje rysunek 8.

Pierwsza klasa obejmuje województwa reprezentujące wysoki poziom zrównoważonego rozwoju. Zaliczają się do niej trzy województwa: dolnośląskie, mazowieckie oraz śląskie. W przypadku tych województw w badanym okresie większość zmiennych, uznanych za stymulanty, przyjmuje bardzo wysokie wartości, natomiast zmienna uznana za destymulantę (stopa bezrobocia zarejestrowanego)



Rys. 8. Podział województw w Polsce na klasy według miary syntetycznej ZR wyznaczonej metodą TOPSIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS

niskie wartości. Województwo dolnośląskie przoduje ze względu na nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca, jest drugie ze względu na produkt krajowy brutto w zł na mieszkańca, trzecie pod względem liczby nauczycieli akademickich na 10 tys. mieszkańców oraz nakładów na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej na mieszkańca. Województwo mazowieckie zajmuje najwyższą pozycję ze względu na produkt krajowy brutto w zł na mieszkańca, nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca, jest drugie ze względu na podmioty zarejestrowane w rejestrze REGON na 10 tys. mieszkańców oraz liczbę nauczycieli akademickich na 10 tys. mieszkańców, a także trzecie ze względu na stopę bezrobocia rejestrowanego. Województwo śląskie jest zdecydowanym liderem w ilości zanieczyszczeń pyłowych zatrzymanych lub zneutralizowanych w urządzeniach do redukcji w t/km^2 , zajmuje drugą pozycję ze względu na stopę bezrobocia rejestrowanego, trzecią ze względu na nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej na mieszkańca oraz czwartą ze względu na nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca.

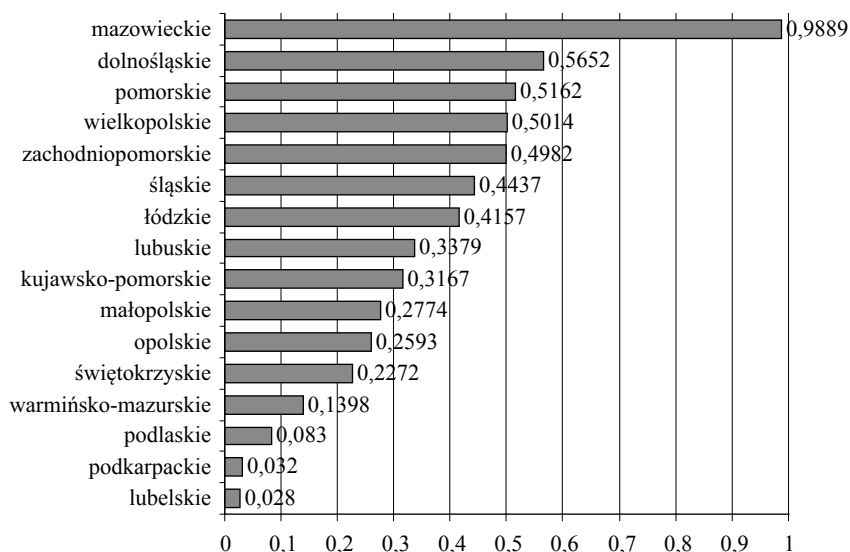
Drugą klasę tworzy sześć województw: łódzkie, wielkopolskie, małopolskie, pomorskie, zachodniopomorskie oraz opolskie. Są to województwa o średnim wyższym poziomie zrównoważonego rozwoju. Charakteryzują się wysokim produktem krajowym brutto w zł na mieszkańca. Ponadto w województwach pomorskim, wielkopolskim i zachodniopomorskim zaobserwowano wysoki wskaźnik podmiotów zarejestrowanych w rejestrze REGON na 10 tys. mieszkańców. Województwa łódzkie oraz małopolskie wyróżniają się wysokim wskaźnikiem nauczycieli akademickich na 10 tys. mieszkańców, a wielkopolskie najniższą stopą bezrobocia rejestrowanego.

Trzecia klasa reprezentuje średni niski poziom rozwoju zrównoważonego. Występuje on w województwach lubuskim, kujawsko-pomorskim, świętokrzyskim, podlaskim oraz lubelskim. W województwach tych zaobserwowano stosunkowo niski produkt krajowy brutto w zł na mieszkańca, wysoką stopę bezrobocia rejestrowanego (poza województwem podlaskim), niskie nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach w zł na mieszkańca (oprócz województwa kujawsko-pomorskiego). W kasie tej występują województwa o dość dużej rozpiętości wskaźnika zanieczyszczeń gazowych zatrzymanych lub zneutralizowanych w urządzeniach do redukcji w t/km^2 (bardzo niskie: podlaskie, lubuskie, czy duże: lubelskie, świętokrzyskie).

Do czwartej klasy zakwalifikowano województwa podkarpackie oraz warmińsko-mazurskie, które odznaczają się niskim poziomem zrównoważonego rozwoju. Województwo podkarpackie charakteryzuje się najniższym produktem krajowym brutto w zł na mieszkańca, najniższym wskaźnikiem podmiotów zarejestrowanych w rejestrze REGON na 10 tys. mieszkańców oraz liczbą nauczycieli akademickich na 10 tys. mieszkańców. W województwie warmińsko-mazurskim

występuje najwyższa stopa bezrobocia zarejestrowanego, najniższy wskaźnik zanieczyszczeń pyłowych zatrzymanych lub zneutralizowanych w urządzeniach do redukcji w t/km² oraz najniższe nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej na mieszkańca.

Najmniej liczne okazały się dwie skrajne klasy województw, a więc reprezentujące najwyższy i najniższy poziom zrównoważonego rozwoju, podczas gdy większość województw zakwalifikowała się do klas: drugiej i trzeciej, które zawierają województwa o średnim poziomie zrównoważonego rozwoju. Analogicznie otrzymano syntetyczne mierniki zrównoważonego rozwoju dla sfery gospodarczej, społecznej i środowiskowej. Uzyskane wyniki prezentują rysunki 9–11.

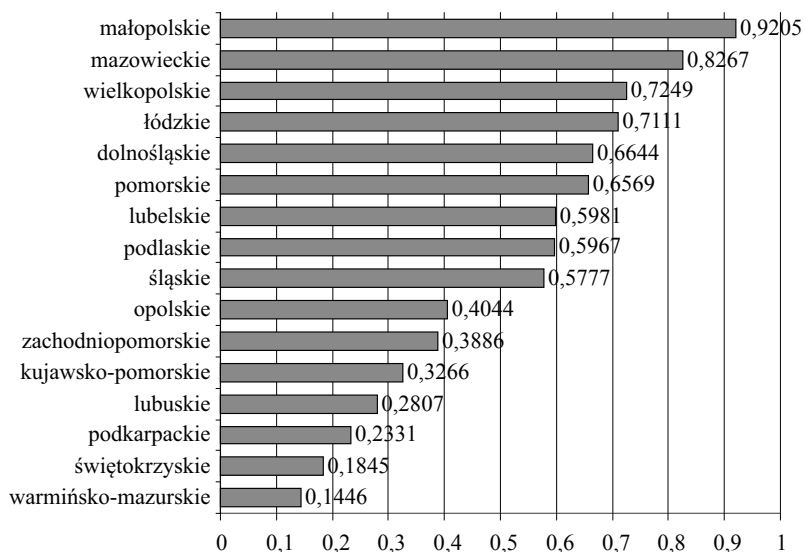


Rys. 9. Wartość syntetycznego miernika sfery gospodarczej otrzymanego metodą TOPSIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS

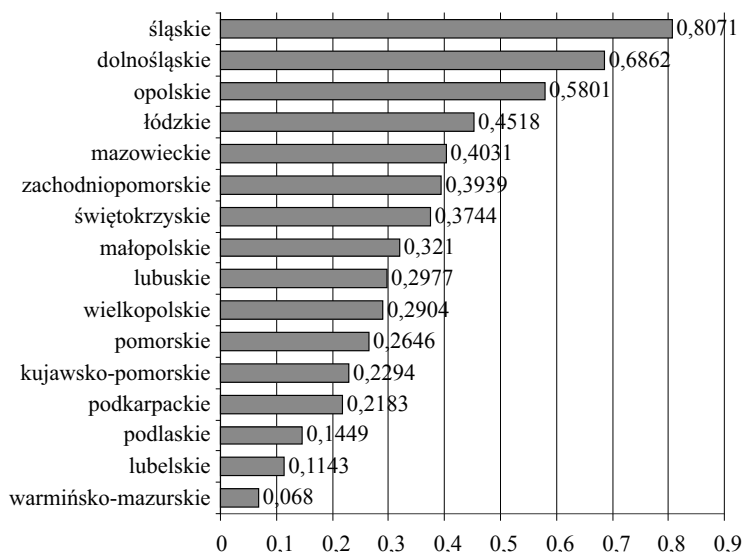
Zestawienie poszczególnych klas województw ze względu na sferę gospodarczą, społeczną oraz środowiskową otrzymanych metodą TOPSIS zawiera tabela 5.

Poziom wysoki lub średni wyższy, ze względu na każdy z trzech analizowanych wymiarów zrównoważonego rozwoju, reprezentuje województwo mazowieckie, dolnośląskie oraz łódzkie; poziom średni wyższy lub średni niższy występuje w województwach pomorskim, zachodniopomorskim oraz opolskim, a poziom średni niższy lub niski w województwach podlaskim, podkarpackim oraz warmińsko-mazurskim. Największe zróżnicowanie pozycji w rankingu województw dla trzech sfer ZR zaobserwowano dla województw małopolskiego, śląskiego oraz wielkopolskiego.



Rys. 10. Wartość syntetycznego miernika sfery społecznej otrzymanego metodą TOPSIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS



Rys. 11. Wartość syntetycznego miernika sfery środowiskowej otrzymanego metodą TOPSIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS

Tabela 5. Podział województw w Polsce na klasy według miary syntetycznej sfery gospodarczej, społecznej, środowiskowej wyznaczonej metodą TOPSIS

Klasa	Sfera		
	GOSP	LUDN	SROD
Klasa I: poziom wysoki	mazowieckie dolnośląskie	małopolskie mazowieckie wielkopolskie	śląskie dolnośląskie
Klasa II: poziom średni wyższy	pomorskie, wielkopolskie zachodniopomorskie śląskie łódzkie	łódzkie dolnośląskie pomorskie lubelskie	opolskie łódzkie, mazowieckie zachodniopomorskie świętokrzyskie małopolskie
Klasa III: poziom średni niższy	lubuskie kujawsko-pomorskie małopolskie opolskie świętokrzyskie warmińsko-mazurskie	podlaskie śląskie opolskie zachodniopomorskie kujawsko-pomorskie	lubuskie wielkopolskie pomorskie kujawsko-pomorskie podkarpackie
Klasa IV: poziom niski	podlaskie podkarpackie lubelskie	lubuskie podkarpackie świętokrzyskie warmińsko-mazurskie	podlaskie lubelskie warmińsko-mazurskie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą TOPSIS.

5. Analiza porównawcza otrzymanych wyników

Wyniki uporządkowania województw otrzymane za pomocą modelowania miękkiego (MM) oraz metody TOPSIS (TP) przedstawiono w tabeli 6.

Otrzymane wyniki świadczą o dużej zgodności otrzymanych rankingów. W przeprowadzonych klasyfikacjach najkorzystniej wypadają województwa mazowieckie, dolnośląskie i śląskie. Natomiast na ostatnich pozycjach znajdują się województwa: warmińsko-mazurskie oraz podkarpackie.

Zgodność klasyfikacji ze względu na obie metody w przypadku poziomu zrównoważonego rozwoju występuje w dziewięciu województwach, w odniesieniu do sfery gospodarczej oraz środowiskowej w dwunastu województwach, a w sferze społecznej w trzech województwach. Współczynniki Spearmana korelacji rang wynoszą odpowiednio dla poziomu zrównoważonego rozwoju 0,9853, dla sfery gospodarczej 0,9853, sfery środowiskowej 0,9941, a sfery społecznej 0,9647. Najwyższą zgodność klasyfikacji otrzymano dla sfery środowiskowej, a najniższą dla sfery społecznej.

Tabela 6. Uporządkowanie województw w Polsce w 2008 roku według analizowanych sfer i poziomu zrównoważonego rozwoju – porównanie

Województwo	GOSP		LUDN		SROD		ZR	
	MM	TP	MM	TP	MM	TP	MM	TP
Dolnośląskie	2	2	4	5	2	2	2	1
Kujawsko-Pomorskie	9	9	12	12	12	12	11	11
Lubelskie	16	16	8	7	15	15	14	14
Lubuskie	8	8	15	13	10	9	10	10
Łódzkie	7	7	3	4	5	4	5	4
Małopolskie	10	10	2	1	8	8	8	6
Mazowieckie	1	1	1	2	4	5	1	2
Opolskie	11	11	11	10	3	3	9	9
Podkarpackie	15	15	14	14	13	13	15	15
Podlaskie	14	14	9	8	14	14	13	13
Pomorskie	5	3	7	6	11	11	6	7
Śląskie	4	6	6	9	1	1	3	3
Świętokrzyskie	12	12	13	15	7	7	12	12
Warmińsko-Mazurskie	13	13	16	16	16	16	16	16
Wielkopolskie	3	4	5	3	9	10	4	5
Zachodniopomorskie	6	5	10	11	6	6	7	8

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników otrzymanych metodą modelowania miękkiego oraz metodą TOPSIS.

Wnioski

Do klasyfikacji województw – ze względu na: poziom zrównoważonego rozwoju, ład gospodarczy, społeczny oraz środowiskowy – zastosowano dwie metody: modelowanie miękkie i metodę TOPSIS. Na podstawie odrębnych metodologii indykatory zmiennych obserwowalnych zostały zagregowane jako zmienne ZR, GOSP, LUDN i SROD.

Skonstruowany model miękkiego zrównoważonego rozwoju prezentuje wpływ analizowanych sfer na rozwój województw w Polsce. Parametry modelu wewnętrznego i zewnętrznego zostały oszacowane metodą PLS. Wszystkie zmienne nieobserwowalne i obserwowalne zostały zweryfikowane pozytywnie zarówno pod względem merytorycznym, jak i statystycznym, co umożliwiło analizę uzyskanych wyników.

Najwyższą, dodatnią zależnością korelacyjną ze zmienną ukrytą ZR odznacza się wymiar gospodarczy, umiarkowaną – wymiar środowiskowy, a słabą – wymiar społeczny. Wyniki te przenoszą się bezpośrednio na ranking województw

pod względem zrównoważonego rozwoju. Pierwsze miejsca w rankingu uzyskały regiony o najwyższym potencjale ekonomicznym, średnim stanie aktywności na rzecz środowiska i o niskim potencjale społecznym. Są to województwa: mazowieckie, dolnośląskie, śląskie i wielkopolskie. Natomiast ostatnie pozycje zajmują regiony o niskim potencjale ekonomicznym, niskim społecznym i o średnim stopniu aktywności na rzecz środowiska, takie jak: świętokrzyskie, podlaskie, lubelskie, podkarpackie i warmińsko-mazurskie.

Zbudowany model miękkiego zrównoważonego rozwoju pokazuje ponadto, które wskaźniki mają najistotniejszy wpływ na trzy analizowane sfery i na integrującą je zmienną ukrytą ZR. Są to: produkt krajowy brutto na mieszkańca, nakłady inwestycyjne w przedsiębiorstwach na mieszkańca oraz wartość brutto środków trwałych na mieszkańca, czyli te zmienne, które świadczą o wysokim potencjale rozwojowym regionu, a w szczególności o potencjale ekonomicznym. Wszystkie indykatory najsilniej odbijające zmienną ukrytą ZR są stymulantami i odznaczają się wysoką tendencją rozwojową, co jest przejawem trwałości rozwoju regionów w Polsce. Natomiast najslabszy wpływ na zrównoważony rozwój mają: zanieczyszczenia pyłowe i gazowe zatrzymane lub zneutralizowane w urządzeniach do redukcji w t/km², czyli indykatory zmiennej ukrytej opisującej wymiar środowiskowy.

Poziom zróżnicowania zrównoważonego rozwoju województw Polski zbadano przy zastosowaniu metody porządkowania liniowego obiektów z wykorzystaniem syntetycznego miernika zrównoważonego rozwoju otrzymanego metodą TOPSIS. Metoda ta zapewnia wielowymiarowość prowadzonego badania, służy do określenia miejsc każdego województwa w strukturze. Metoda TOPSIS pozwala nie tylko ustalić ranking poszczególnych województw, ale także dodatkowo pozwala wyznaczyć odległości każdego województwa od abstrakcyjnego województwa o najkorzystniejszych wartościach poszczególnych wskaźników.

Stosując modelowanie miękkie oraz metodę TOPSIS otrzymano zbliżone rankingi województw ze względu na zrównoważony rozwój oraz w ramach analizowanych wymiarów.

Badanie prowadzone systematycznie opisanymi metodami dla kolejnych okresów umożliwi analizę dynamiki i kierunku wdrażania koncepcji zrównoważonego rozwoju z podziałem na województwa.

Bibliografia

- Borys, T. (red.), 2005, *Wskaźniki zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Warszawa-Białystok.
- Berg, J.C.J.M. van den, Nijkamp, P., 1991, *Operationalizing sustainable development: dynamic ecological – economic model*, Ecological Economics No. 4.

- Godlewska, J., 2006, *Programowanie zrównoważonego rozwoju gminy*, Politechnika Białostocka, Białystok.
- Hellwig, Z., 1968, *Zastosowania metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom rozwoju i strukturę wykwalifikowanych kadr*, Przegląd Statystyczny z. 4.
- Hellwig, Z., Siedlecka, U., Siedlecki, J., 1997, *Taksonometryczne modele zmian struktury gospodarczej Polski*, IRiSS, Warszawa.
- Hwang, C.L, Yoon, K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- Kuszeński, T., 2000, *Wprowadzenie do modelowania ekonometrycznego*, w: M. Gruszczyński, M. Podgórska (red.), *Ekonometria*, Wydawnictwo SGH, Warszawa.
- Łuczak, A., Wysocki, F., 2006, *Rozmyta wielokryterialna metoda porządkowania liniowego obiektów*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Taksonomia 13.
- Nowak, E., 1990, *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych*, PWE, Warszawa.
- Piontek, F. (red.), 2001, *Ekonomia a rozwój zrównoważony. Teoria i kształcenie*, Tom 1, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Rogowski, J., 1990, *Modele miękkie. Teoria i zastosowanie w badaniach ekonomicznych*, Wydawnictwo Filii UW w Białymstoku, Białystok.
- Śleszyński, J., 2007, *Wskaźniki trwałego rozwoju Unii Europejskiej*, w: D. Kielczewski, B. Dobrzańska (red.), *Zrównoważony rozwój i ochrona środowiska w gospodarce*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok.
- Wold, H., 1980, *Soft modelling: Intermediate between traditional model building and data analysis*, Banach Centre Publication 6, Mathematical Statistics.
- Wysocki, F., 2008, *Zastosowanie metody TOPSIS do oceny regionalnego zróżnicowania poziomu rozwoju sektora mleczarskiego*, Wiadomości Statystyczne nr 1.

APPLICATION OF SOME METHODS OF CLASSIFICATION TO THE ANALYSIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Summary: The aim of this article is a comparative analysis of soft modelling and TOPSIS method used to check up the level of sustainable development of voivodships in Poland. Soft modelling enables the study of connections between unobservable variables. On the basis of sustainable development theory, a model has been built which shows relations between economy, society and environment as well as their impact on sustainable development. The analysis of results shows optimal relations between the level of economic, social and environmental development, which will allow future generations to make use of the existing resources. Application of the soft modelling and TOPSIS method, based on this same set of indicators, has enabled the classification of regions. Finally, the comparison of results obtained by grouping of the regions using those methods has been made. The study used statistics for the year 2008.