

**dr Mariusz MALINOWSKI**

Wydział Ekonomiczno-Społeczny, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
e-mail: mariusz.malinowski@up.poznan.pl

DOI: 10.15290/ose.2017.02.86.12

## **ZRÓŻNICOWANIE POLSKICH WOJEWÓDZTWA ZE WZGLĘDU NA POZIOM INNOWACYJNOŚCI PRZEDSIĘBIORSTW W LATACH 2010-2014 – WYKORZYSTANIE METOD TAKSONO- MICZNYCH**

### **Streszczenie**

Celem artykułu jest określenie poziomu innowacyjności przedsiębiorstw na poziomie województw z wykorzystaniem różnych metod taksonomicznych. W pierwszej części artykułu przedstawiono problematykę innowacyjności przedsiębiorstw. W drugiej części na podstawie danych statystycznych określono poziom innowacyjności przedsiębiorstw w poszczególnych województwach, w latach 2010-2014. Wskazano możliwość wykorzystania metod wielowymiarowej analizy porównawczej do ustalenia poziomu innowacyjności. Stosując metody wzorcowe i bezwzorcowe, dokonano porządkowania liniowego województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw, jak również zbadano zbieżność uzyskanych uporządkowań. Wykorzystując metodę Warda i metodę PAM, pogrupowano województwa z uwagi na podobny poziom innowacyjności przedsiębiorstw. Następnie oceniono efektywność uzyskanych grupowań.

**Słowa kluczowe:** porządkowanie liniowe, grupowanie obiektów, zgodność wyników porządkowania i klasyfikacji

## **DISPARITY OF POLISH VOIVODESHIPS ACCORDING TO LEVEL OF INNOVATION IN ENTERPRISES IN YEARS 2010-2014: APPLICATION OF TAXONOMIC METHODS**

### **Summary**

The purpose of this paper is to define the level of innovation in enterprises that conduct business in selected regions with the use of various taxonomic methods. The first part is concerned with issues of enterprise innovation. In the second part, the level of innovation is assessed in individual voivodeships between the years 2010 and 2014, on the basis of statistical data. The author discusses the usefulness of multidimensional comparative analysis to define the level of innovation. A linear classification of the studied voivodeships in terms of enterprise innovation levels is performed, using standard and non-standard methods. Moreover, the convergence of the classifications is examined. Ward's method and the PAM method are applied to group the voivodeships according to enterprise innovation level. Finally, the effectiveness of the obtained groupings is assessed.

**Key words:** linear classification, object grouping, conformity of assignment and classification results

**JEL:** C38, O30.

## 1. Wstęp

W erze gospodarki opartej na wiedzy, w warunkach narastającej konkurencji i postępującego procesu globalizacji, jednym z kluczowych czynników istotnie decydujących o konkurencyjności przedsiębiorstw stały się innowacje. To właśnie wdrożone innowacje odgrywają szczególną rolę w różnicowaniu produktów czy też obniżaniu kosztów produkcji, a także przyczyniają się do wzrostu innych czynników produkcji (np. dzięki poprawie jakości siły roboczej), a przez to często przesądzają o możliwościach rozwojowych jednostek gospodarczych. Niestety, relatywnie niska innowacyjność polskich przedsiębiorstw zarówno w skali globalnej, jak i europejskiej przekłada się na innowacyjność całej gospodarki (oprócz działalności przedsiębiorstw determinowanej przez m.in. zdolności sektora B+R bądź jakość kapitału ludzkiego i społecznego). W najnowszym rankingu innowacyjności gospodarek, sporządzonym przez agencję Bloomberg [*The Bloomberg Innovation Index...*], Polska wśród 50 sklasyfikowanych państw zajmuje dopiero 25. miejsce, ustępując m.in. Włochom i Hiszpanii. Powoduje to, że szczególnego znaczenia nabiera pomiar poziomu innowacyjności przedsiębiorstw i podejmowanie działań zmierzających do jej wzrostu.

Celem artykułu jest dokonanie oceny poziomu innowacyjności przedsiębiorstw w województwach dzięki zastosowaniu taksonomicznych metod porządkowania. Skwantyfikowaniu poziomu innowacyjności przedsiębiorstw posłużyły metody wielowymiarowej analizy statystycznej wykorzystujące syntetyczne mierniki rozwoju. Zastosowanie mierników syntetycznych, które zastępują opis obiektów przy użyciu szeregu zmiennych opisem za pomocą jednej zagregowanej wielkości, umożliwiło pomiar wielowymiarowego zjawiska, jakim jest poziom innowacyjności przedsiębiorstw w poszczególnych województwach, jak również pozwoliło na uszeregowanie liniowe badanych obiektów. Pomimo licznych analiz<sup>1</sup>, skwantyfikowanie poziomu innowacyjności poszczególnych obiektów pozostaje nie w pełni rozwiązany problemem. W ujęciu autora, dotyczy to w równej mierze sposobu doboru zmiennych diagnostycznych (zróżnicowane kryteria formalne i merytoryczne), metod wykorzystywanych do pomiaru tego zjawiska, jak i metod służących do grupowania analizowanych obiektów. W przypadku stosowania różnych metod taksonomicznych (np. wzorcowych i bezwzorcowych) przez badaczy bardzo często jest marginalizowana konieczność oceny zgodności klasyfikacji i porządkowania czy też weryfikacji poprawności przeprowadzonego grupowania obiektów. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają analizy wielowymiarowych zjawisk (np. poziomu innowacyjności poszczególnych obiektów) z wykorzystaniem zróżnicowanych metod taksonomicznych z uwzględnieniem oceny poprawności przeprowadzonych analiz. Wynika to m.in. z faktu, że w sytuacji wykorzystania wyłącznie metod wzorcowych (najczęstsze

---

<sup>1</sup> Tego typu badania zostały przeprowadzone m.in. przez E. Piotrowską i E. Roszkowską. Autorki, wykorzystując metodę TOPSIS i metodę Warda, dokonały w ujęciu dynamicznym (lata 2006-2011) porządkowania regionów ze względu na poziom innowacyjności oraz wskazały grupy regionów podobnych ze względu na poziom analizowanego zjawiska [por. Piotrowska, Roszkowska, 2014]. W innych badaniach autorki, posługując się metodą TOPSIS, wyznaczyły cząstkowe syntetyczne mierniki (dla danych z 2008 roku) odnoszące się do pięciu kategorii opisujących innowacyjność województw, takich jak: czynniki napędzające innowacyjność, wytwarzanie wiedzy, innowacyjność i przedsiębiorczość, zastosowanie i własność intelektualna, a także ogólny syntetyczny miernik innowacyjności [por. Piotrowska, Roszkowska, 2011].

podejście stosowane przez badaczy) do oceny np. poziomu innowacyjności przedsiębiorstw w regionie, nawet najlepiej oceniony w danym zbiorze, obiekt może nie stanowić (w związku z zauważalną ilościową i jakościową luką innowacyjną w poszczególnych regionach) optymalnego wzorca rozwoju dla pozostałych. Przeprowadzenie swojego rodzaju „analizy potwierdzającej” ma również szczególne znaczenie dla grupowania obiektów. Jedną z najczęściej stosowanych metod grupowania obiektów (i często jedyną) jest metoda Warda. Należy mieć na uwadze to, że metoda ta ma tendencję do łączenia skupień zawierających małą liczbę obserwacji oraz generowania skupień o zbliżonej liczebności, dlatego posłużenie się wyłącznie jedną metodą grupowania może budzić pewne zastrzeżenia.

W pierwszej części artykułu przedstawiono teoretyczne aspekty innowacyjności przedsiębiorstw. Następnie, stosując metody wzorcowe i bezwzorcowe, przeprowadzono porządkowanie liniowe analizowanych obiektów. W tym celu wykorzystano: metodę wzorca rozwoju Hellwiga, metodę TOPSIS, metodę sum standaryzowanych oraz metodę rang [Balicki, 2009; Dziechciarz, 2002; Hwang, Yoon, 1981; Panek, Zwierzchowski, 2013]. Jednoczesne wykorzystanie różnych metod taksonomicznych stanowi swojego rodzaju „analizę potwierdzającą” i umożliwia porównanie uzyskanych wyników. Ponadto, sklasyfikowano analizowane obiekty, posługując się metodą Warda oraz rzadziej stosowaną przez badaczy metodą PAM [Młodak, 2006; Panek, Zwierzchowski, 2013; *IDAMS...*, 2008]. Analizą objęto wszystkie 16 województw Polski. Dobór zmiennych diagnostycznych został dokonany na podstawie kryteriów: merytorycznych, statystycznych i formalnych (przede wszystkim kompletności i dostępności dla badanych obiektów w latach 2010-2014).

## 2. Innowacje i ich znaczenie w funkcjonowaniu współczesnych przedsiębiorstw

Innowacja jest pojęciem różnie definiowanym przez poszczególnych autorów i ma stosunkowo szerokie znaczenie. Jako pierwszy pojęcie innowacji do nauk ekonomicznych wprowadził J. Schumpeter, precyzując definicję, do której odnieśli się późniejsi autorzy. Przez pojęcie innowacji autor rozumiał [Schumpeter, 1960, s. 104]: wprowadzanie nowych wyrobów na rynek, wdrażanie nowej technologii produkcji, wejście na nowy rynek, zdobywanie nowych źródeł surowców lub półfabrykatów, przeprowadzanie zmiany organizacyjnej. Według J.A. Allena, innowacja polega na wprowadzeniu do powszechnego użytku nowych produktów, procesów lub sposobów postępowania [Allen, 1966, s. 7]. Z przedstawionych definicji wynika, że innowacje mogą być rozpatrywane dwojako – jako rezultat (dobro finalne) albo proces (a nie pojedynczy akt działania).

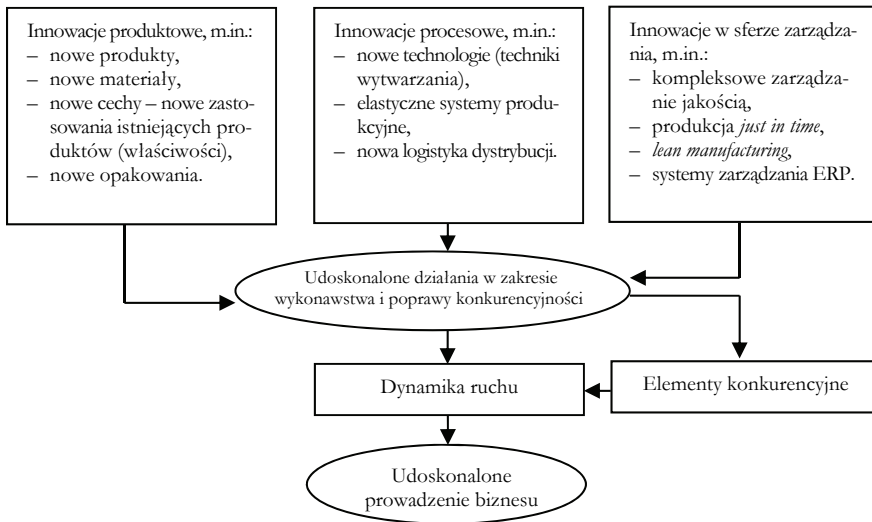
W literaturze wyróżnia się szereg różnego rodzaju innowacji i sposobów ich klasyfikacji. Ze względu na kryterium przedmiotowe, OECD wymienił cztery typy innowacji, takie jak: innowacje w obrębie produktów, innowacje w obrębie procesów, innowacje marketingowe i innowacje organizacyjne [*Podręcznik Oslo...*, 2008, s. 49-55]. Warto zaznaczyć, że najczęściej poszczególne rodzaje innowacji są ze sobą powiązane, gdyż trudno zakładać, że innowacje produktowe mogą zachodzić w całkowitym oderwaniu od innowacji

procesowych. Stosuje się również podział innowacji według stopnia nowości produktu/technologii. W ramach tej klasyfikacji wyodrębnia się innowacje, które są nowością na poziomie: międzynarodowym (najwyższy poziom), czyli takie, które po raz pierwszy wprowadzono na dany rynek towarowy; krajowym, czyli po raz pierwszy wprowadzono je w danym kraju; przedsiębiorstwa [Wziątek-Kubiak, Balcerowicz, 2009, s. 16]. Z kolei, T. Davila i inni [2006, s. 38-39] ze względu na kryterium nowości wyróżnili innowacje: przyrostowe, semi-radykalne oraz radykalne. Przyrostowe innowacje skutkują wprowadzeniem drobnych usprawnień do istniejących produktów i procesów biznesowych. Natomiast wynikiem innowacji radykalnych są całkowicie nowe produkty i usługi lub całkowita zmiana sposobu ich dostarczania.

W naukach ekonomicznych podkreśla się, że współczesne przedsiębiorstwa powinny zmienić podejście z konwencjonalnego, polegającego na zwalczaniu konkurencji, a kierować się inną logiką, zwaną innowacją wartości. Innowacja wartości jest posunięciem, które umożliwia przedsiębiorstwu kreowanie „błękitnego oceanu” – nowego rynku, na którym nie trzeba walczyć z konkurencją, gdyż ta nie istnieje [Czerska, Szpitter, 2010, s. 354-355].

### RYSUNEK 1.

#### Wpływ innowacji na konkurencyjność przedsiębiorstwa



Źródło: [Transfer technologii z uczelni do biznesu..., 2008, s. 13].

Innowacyjny rozwój przedsiębiorstw przyczynia się do zmiany istniejących schematów działania. Dotyczy to nie tylko wprowadzania nowych produktów (usług) na rynek (lub poprawy ich parametrów użytkowych), ale również poprawy wydajności pracy, udoskonalień w sferze zarządzania, przekształceń organizacyjnych, rozwoju wiedzy i umiejętności pracowników. Podstawową przesłanką wdrażania nowych rozwiązań w działalności gospodarczej jest osiągnięcie (utrzymanie) przewagi konkurencyjnej czy

też poprawa wyników gospodarowania (wzrost wydajności, obniżenie kosztów, wzrost sprzedaży).

W przekonaniu A. H. Jasińskiego [1992, s. 25], każda efektywnie działająca jednostka gospodarcza powinna być zorientowana na innowacje. Zdaniem autora, przedsiębiorstwo zorientowane na innowacje, lub inaczej przedsiębiorstwo innowacyjne, to takie, które: prowadzi w szerokim zakresie prace badawczo-rozwojowe (bądź dokonuje zakupów projektów nowych produktów czy technologii); przeznaczą na tę działalność relatywnie wysokie nakłady finansowe; systematycznie wdraża nowe rozwiązania naukowo-techniczne; reprezentuje duży udział nowości w wolumenie produkcji i usług; stale wprowadza innowacje na rynek. W opinii K.B. Matusiaka [2010, s. 60], innowacyjność przedsiębiorstwa to zdolność i motywacja do poszukiwania i komercyjnego wykorzystania: jakichkolwiek wyników badań naukowych, nowych koncepcji, pomysłów, wynalazków, które przyczyniają się do wzrostu poziomu nowoczesności i wzmacniania pozycji konkurencyjnej. Szeroką definicję przedsiębiorstwa innowacyjnego przedstawiono w *Podręczniku Oslo* [*Podręcznik Oslo ...*, 2008, s. 49], zgodnie z którą przedsiębiorstwo innowacyjne to takie, które w rozpatrywanym okresie (nie dłuższym niż 3 lata) wprowadziło innowacje.

### 3. Porządkowanie oraz grupowanie województw ze względu na potencjał innowacyjny przedsiębiorstw

W kontekście określania innowacyjności przedsiębiorstw zasadniczo można wyróżnić podejście podmiotowe i przedmiotowe. W pierwszym ujęciu za przedsiębiorstwo innowacyjne uznaje się podmiot, który w badanym okresie wprowadził innowację technologiczną. Natomiast przykładem metody przedmiotowej jest tzw. metoda LBIO (*Literature-Based Innovation Output Indicators*), polegająca na zbieraniu informacji o poszczególnych innowacjach na podstawie ogłoszeń zamieszczanych w prasie fachowej oraz uzupełnianych np. za pomocą wywiadów [Chądzyński i in. 2007, s. 147-148].

Według metodyki *Innovation Union Scoreboard*, wskaźniki innowacyjności całej gospodarki<sup>2</sup>, służące do wyznaczenia Sumarycznego Wskaźnika Innowacyjności (*Summary Innovation Index – SII*), można podzielić na trzy grupy, tj.: potencjał (elementy podstawowe opisujące zdolność gospodarki do innowacji (zasoby ludzkie, system badań, finansowanie)), aktywność przedsiębiorstw (działania przedsiębiorstw podejmowane w zakresie innowacji), produkty (efekty działań innowacyjnych (aktywność innowatorów, efekty ekonomiczne)) [*Innovation Union...*, 2012, s. 6].

Analogicznie, w modelu służącym do kompleksowej oceny innowacyjności przedsiębiorstw, opracowanym przez *Fraunhofer Institut*, wyróżniono trzy grupy charakterystyk, takie jak: nakłady na innowacje, obszar projektowy procesu innowacji (m.in.: strategia, procesy, zarządzanie projektami) oraz efekty działań [*Überholspur Innovation*, 2007, s. 15]. Posługując się wskaźnikami stosowanymi do wyznaczenia wskaźnika *SII*, a także indykatorami wykorzystywanymi w analizach PARP do oceny potencjału innowacyjnego

<sup>2</sup> Wskaźniki te dotyczą zarówno aktywności innowacyjnej przedsiębiorstw, jak i m.in. działań podejmowanych przez państwo, które mają na celu stymulację działalności innowacyjnej (wsparcie finansowe).

województw [Plawgo i in. 2013], skonstruowano autorski miernik innowacyjności przedsiębiorstw. W wyniku merytoryczno-formalnej<sup>3</sup> analizy zmiennych, wstępnie zaproponowano poniższy zestaw wskaźników sklasyfikowany w trzech grupach tematycznych.

- I **Potencjał:**  $W_{11}$  – przedsiębiorstwa mające Internet (w % ogółu badanych przedsiębiorstw);  $W_{12}$  – przedsiębiorstwa posiadające środki automatyzacji, na 10 tys. podmiotów zarejestrowanych w REGON;  $W_{13}$  – przedsiębiorstwa przemysłowe, które współpracowały w zakresie działalności innowacyjnej (w % ogółu badanych przedsiębiorstw);  $W_{14}$  – zatrudnieni w B+R w sektorze przedsiębiorstw na 10 tys. osób.
- II **Ponoszone nakłady:**  $W_{21}$  – relacja nakładów wewnętrznych na działalność B+R do PKB (w cenach bieżących)<sup>4</sup>;  $W_{22}$  – nakłady na działalność B+R w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych na 10 tys. osób;  $W_{23}$  – nakłady na działalność innowacyjną w przedsiębiorstwach z sektora usług na 10 tys. osób;  $W_{24}$  – nakłady na działalność innowacyjną w przedsiębiorstwach przemysłowych na 10 tys. osób.
- III **Efekty:**  $W_{31}$  – przedsiębiorstwa, które wprowadziły nowe lub istotnie ulepszone produkty (w % ogółu badanych przedsiębiorstw);  $W_{32}$  – przedsiębiorstwa, które wprowadziły nowe lub istotnie ulepszone dla rynku produkty (w % ogółu badanych przedsiębiorstw);  $W_{33}$  – przedsiębiorstwa, które wprowadziły nowe lub ulepszone procesy (w % ogółu badanych przedsiębiorstw);  $W_{34}$  – udział przychodów netto ze sprzedaży produktów innowacyjnych w przychodach netto ze sprzedaży netto ogółem (w %);  $W_{35}$  – wynalazki zgłoszone na 10 tys. os.;  $W_{36}$  – udzielone patenty na 10 tys. osób;  $W_{37}$  – zgłoszone wzory użytkowe na 10 tys. osób.

Mając na uwadze kwestionowanie przez wielu autorów słuszności procedur ważenia zmiennych odnoszących się do danych przestrzennych, zrezygnowano z przypisania zmiennym diagnostycznym współczynników wagowych. Za takim rozwiązaniem przemawia m.in. to, że zmienne, które nie zostały wyselekcjonowane, z góry otrzymałyby zerowe wagi [Balicki, 2009, s. 325; Młodak, 2006, s. 44-45].

W celu uzyskania ostatecznego zbioru zmiennych diagnostycznych, zbadano zdolność dyskryminacyjną zmiennych oraz ich pojemność, czyli stopień skorelowania z innymi zmiennymi. Ze zbioru potencjalnych zmiennych eliminowano te cechy, dla których wartość współczynnika zmienności była mniejsza od ustalonej w sposób arbitralny, krytycznej wartości progowej tego współczynnika na poziomie 10%. Ponadto, powszechnie przyjmuje się, że dwie zmienne wysoko skorelowane przekazują podobną infor-

---

<sup>3</sup> Kryterium merytoryczne oznacza, że cechy diagnostyczne muszą: ujmować najbardziej istotne, a nie marginalne własności analizowanych obiektów, być jednoznacznie i ściśle zdefiniowane oraz logicznie ze sobą powiązane. Natomiast kryterium formalne wymaga, aby cechy diagnostyczne były mierzalne w sensie możliwości liczbowego wyrażenia ich poziomu. Ponadto, wymagana jest kompletność danych dla wszystkich obiektów i okresów badania, a także zapewnienie porównywalności obiektów w czasie i przestrzeni [Metody oceny rozwoju regionalnego, 2006, s. 33; Podogrodzka, 2011, s. 30].

<sup>4</sup> Ze względu na brak danych, dotyczących relacji nakładów wewnętrznych na działalność B+R do PKB w 2013 i 2014 roku, przyjęto dane za 2012 rok.

mację, więc zaleca się wyeliminowanie jednej z nich. Dlatego do oceny wartości informacyjnej wykorzystano tzw. metodę odwróconej macierzy korelacji. Metoda ta polega na wyznaczeniu macierzy odwrotnej do macierzy korelacji:

$$\mathbf{R}^{-1} = [\tilde{r}_{jj'}], \quad j, j' = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

gdzie:  $\tilde{r}_{jj'} = \frac{(-1)^{j+j'} |\mathbf{R}_{jj'}|}{|\mathbf{R}|}$ , przy czym:  $\mathbf{R}_{jj'}$  – macierz zredukowana po usunięciu z niej  $j$ -tego wiersza i  $j'$ -tej kolumny;  $|\mathbf{R}|$ ,  $|\mathbf{R}_{jj'}|$  – wyznaczniki odpowiednio: macierzy  $\mathbf{R}$  i macierzy  $\mathbf{R}_{jj'}$ .

W kolejnym kroku – jeżeli jest to konieczne – eliminuje się zmienną charakteryzującą się najwyższą wartością diagonalną, przekraczającą arbitralnie ustaloną wartość progową (najczęściej  $r^*=10$ ). Następnie ponownie jest obliczana odwrotna macierz korelacji (dla zredukowanej macierzy korelacji) i sprawdza się, czy wartości diagonalne nie przekraczają ustalonej wartości progowej. Postępowanie kontynuuje się do chwili uzyskania wszystkich wartości diagonalnych, nieprzekraczających ustalonej wartości progowej [Młodak, 2006, s. 31-32; Panek, Zwierzchowski, 2013, s. 25].

Dla każdej podgrupy tematycznej zmiennych obliczono odwrotną macierz korelacji. Jeżeli było to konieczne, eliminowano zmienną charakteryzującą się najwyższą wartością diagonalną, przekraczającą arbitralnie ustaloną wartość progową ( $r^*=10$ ). Powyższy wyjściowy zestaw cech diagnostycznych zredukowano ze względu na niski stopień zróżnicowania, eliminując zmienną  $W_{11}$ . Pozostałe zmienne z uwagi na wysoką zdolność dyskryminacyjną, jak również wysoką pojemność informacyjną zostały wykorzystane do konstrukcji syntetycznego miernika innowacyjności przedsiębiorstw (SMIP). Wszystkie uwzględnione zmienne miały charakter stymulant.

W analizowanym okresie zbiory wybranych i eliminowanych zmiennych różniły się w poszczególnych latach. Podstawą podjęcia ostatecznej decyzji, dotyczącej określenia końcowego zbioru zmiennych, była częstotliwość pojawiania się danej zmiennej (uwzględnionej lub eliminowanej) w całym analizowanym okresie [por. Zeliaś, 2004, s. 54].

W metodach taksonomicznych jednym z głównych wymagań, jakie stawia się wobec ostatecznych zmiennych diagnostycznych, jest ich porównywalność (postulat addytywności), dlatego dokonano procesu normalizacji w wyniku klasycznej standaryzacji wartości zmiennej.

W ramach metod porządkowania obiektów wyróżnia się podział na metody bezwzorcowe i wzorcowe. Pierwsze polegają na konstrukcji globalnych mierników agregatowych i dokonywaniu odpowiednich grupowań na podstawie znormalizowanych wartości cech oraz pomiaru ich odległości. Do konstrukcji bezwzorcowych miar syntetycznych wykorzystuje się średnią arytmetyczną, geometryczną bądź harmoniczną. W przypadku drugiej grupy metod jest konstruowany tzw. taksonomiczny wzorzec rozwoju (sztuczny obiekt odniesienia, dla którego wartości cech stanowią pewnego rodzaju *optimum*), a następnie jest mierzona odległość poszczególnych obiektów od tego wzorca. Im mniejsza jest odległość badanego obiektu od obiektu wzorca, tym lepiej jest oceniony [Metody

oceny rozwoju regionalnego, 2006, s. 161; Młodak, 2006, s. 47]. W celu uporządkowania województw, ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw, zastosowano cztery metody porządkowania liniowego (dwie bezwzorcowe – metoda sum standaryzowanych i metoda średnich rang) i dwie wzorcowe (metoda wzorca rozwoju Hellwiga i metoda TOPSIS). Poniżej krótko scharakteryzowano te metody.

- 1) Metoda rang [Balicki, 2009, s. 329-330; Panek, Zwierzchowski, 2013, s. 63-66] polega na nadaniu rang każdej zmiennej (poddanej wcześniej procesowi stymulacji) ze względu na wartość zmiennych diagnostycznych. W przypadku, gdy dana wartość występuje więcej niż raz, przyporządkowana zostaje im jednakowa ranga, będąca średnią arytmetyczną przysługujących im rang. W kolejnym kroku jest obliczana wartość zmiennej syntetycznej, którą stanowi średnia arytmetyczna rang:

$$s_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m l_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

gdzie:

$l_{ij}$  – wartość rang znormalizowanych cech dla każdego obiektu.

- 2) Metoda standaryzowanych sum [Balicki, 2009, s. 326-328; Dziechciarz, 2002, s. 290-291; Panek, Zwierzchowski, 2013, s. 66-68] polega na obliczeniu wartości zmiennej syntetycznej dla każdego obiektu, stosując formułę średniej arytmetycznej:

$$s_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

gdzie:

$z_{ij}$  – wartość znormalizowanych cech dla każdego obiektu.

Pierwszym etapem jest stymulacja zmiennych, po czym zostają eliminowane wartości ujemne zmiennej syntetycznej w wyniku przesunięcia skali do punktu zerowego za pomocą formuły:

$$s'_i = s_i - \min_i \{s_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

gdzie:

$s_i$  – wartość średniej arytmetycznej w  $i$ -tym obiekcie.

Następnie jest przeprowadzane dalsze przekształcenie:

$$s''_i = \frac{s'_i}{\max_i \{s'_i\}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

mające na celu ustalenie górnej granicy równej 1.

- 3) Metoda wzorca rozwoju Hellwiga [Dziechciarz, 2002, s. 290-291; Panek, Zwierzchowski, 2013, s. 68-71], której pierwszym etapem jest wyznaczenie obiektu wzorcowego  $z_0$  (dla wystandaryzowanych zmiennych), składającego się z najlepszych<sup>5</sup> wartości dla każdej zmiennej:  $z_0 = [z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0j}, \dots, z_{0m}]$ ,

<sup>5</sup> Na potrzeby niniejszego artykułu wartości minimalne i maksymalne były wyznaczane w sposób dynamiczny (dla każdego analizowanego okresu osobno).



$$\tilde{z}_{0j} = \begin{cases} \max_i \{z_{ij}\}, & \text{gdy zmienna } z_{ij} \text{ to stymulanta,} \\ \min_i \{z_{ij}\}, & \text{gdy zmienna } z_{ij} \text{ to destymulanta.} \end{cases} \quad (6)$$

Kolejnym etapem jest zbadanie podobieństwa obiektów z abstrakcyjnie najlepszym obiektem w wyniku obliczenia odległości (najczęściej euklidesowej) każdego obiektu od wzorca rozwoju, zgodnie z formułą:

$$d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - \tilde{z}_{0j})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Później należy wyznaczyć tzw. miarę rozwoju, według wzoru:

$$m_i = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad d_0 = \bar{d}_0 + 2S_{d0}, \quad (8)$$

gdzie:

$\bar{d}_0$  – średnia arytmetyczna współrzędnych wektora  $d_0$ ,

$S_{d0}$  – odchylenie standardowe tych współrzędnych.

Miara przyjmuje zazwyczaj<sup>6</sup> wartości z przedziału [0,1].

- 4) Metoda TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*), w ramach której etapy konstruowania syntetycznego miernika są następujące [Hwang, Yoon, 1981, s. 128-140]:

- dokonanie wyboru wskaźników cząstkowych;
- utworzenie znormalizowanej macierzy decyzyjnej. W procedurze normalizacyjnej zaleca się stosowanie tzw. unitaryzacji zerowanej, która odbywa się według następujących formuł [Wysocki, 2010, s. 51]:

- dla stymulant: 
$$\tilde{z}_{ik} = \frac{x_{ik} - \min_i \{x_{ik}\}}{\max_i \{x_{ik}\} - \min_i \{x_{ik}\}}, \quad (9)$$

- dla destymulant: 
$$\tilde{z}_{ik} = \frac{\max_i \{x_{ik}\} - x_{ik}}{\max_i \{x_{ik}\} - \min_i \{x_{ik}\}}, \quad (10)$$

- dla nominant: 
$$\tilde{z}_{ik} = \frac{\max_i \{x_{ik}\} - x_{ik}}{\max_i \{x_{ik}\} - \text{nom}\{x_{ik}\}}, \quad x_{ik} > \text{nom}\{x_{ik}\}, \quad (11)$$

$$\tilde{z}_{ik} = \frac{x_{ik} - \min_i \{x_{ik}\}}{\text{nom}\{x_{ik}\} - \min_i \{x_{ik}\}}, \quad x_{ik} \leq \text{nom}\{x_{ik}\}, \quad (12)$$

<sup>6</sup> Miara może przyjąć wartości ujemne dla obiektu, dla którego wielkości zmiennych znacząco silniej różnią się od tych w obiekcie wzorcowym niż innych obiektów, a także gdy liczba porządkowanych obiektów jest duża [Panek, Zwierzchowski, 2013, s. 69].

gdzie:

$\max_i \{x_{ik}\}$  – maksymalna wartość  $k$ -tej cechy,

$\min_i \{x_{ik}\}$  – minimalna wartość  $k$ -tej cechy,  $\text{nom}\{x_{ik}\}$  – nominalna wartość  $k$ -tej cechy.

- w przypadku ważenia zmiennych należy skonstruować macierz wag, a następnie utworzyć ważoną znormalizowaną macierz decyzyjną;
- dla znormalizowanych cech ustala się współrzędne – rozwiązania „idealnego” ( $A^+$ ) i antyidealnego ( $A^-$ ):

$$A^+ = (\max_i (z_{i1}), \max_i (z_{i2}), \dots, \max_i (z_{im})) = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+), \quad (13)$$

$$A^- = (\min_i (z_{i1}), \min_i (z_{i2}), \dots, \min_i (z_{im})) = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-); \quad (14)$$

- wyznaczenie odległości euklidesowej każdego obiektu od wzorca i antywzorca:

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^+)^2}, \quad s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (15)$$

- obliczenie wartości cechy syntetycznej:

$$C_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-}, \quad (16)$$

gdzie  $0 \leq C_i \leq 1$ .

Jak wspomniano wcześniej, sprawdzenie różnych metod agregacji danych wydaje się uzasadnione, gdyż w przypadku zastosowania wyłącznie metod wzorcowych do oceny poziomu innowacyjności przedsiębiorstw w regionie, nawet najlepiej oceniony w danym zbiorze, obiekt może nie stanowić optymalnego wzorca (obiekту o najlepszych wartościach zmiennych cząstkowych) dla pozostałych. Związane jest to z często zauważalną (praktycznie w każdym regionie) ilościową i jakościową luką rozwojową dotyczącą poszczególnych elementów decydujących o innowacyjności przedsiębiorstw.

Warto zwrócić uwagę na to, że w przypadku trzech wykorzystanych metod, wzorca rozwoju Hellwiga, TOPSIS oraz sum standaryzowanych, w całym analizowanym okresie najwyższe mierniki odnotowano w województwie mazowieckim. Natomiast w przypadku metody rang trzykrotnie (w 2010, 2012, i 2014 roku) najwyższe wskaźniki zaobserwowano w województwie śląskim, a województwo mazowieckie osiągnęło najwyższy miernik innowacyjności obliczony tą metodą tylko dla danych z 2013 roku. Ma to związek z wysokimi wartościami w danym okresie miernika syntetycznego, uwzględniającego rozproszenie analizowanych zmiennych (metoda wzorca rozwoju, metoda TOPSIS, metoda sum) i jednocześnie niższą wartością miernika nieuwzględniającego stopnia zróżnicowania wartości cech, będącego średnią arytmetyczną rang (metoda rang).

TABELA 1.

## Syntetyczny miernik poziomu innowacyjności przedsiębiorstw

J.p.	Metody bezwzorcowe									
	Metoda sum standaryzowanych					Metoda średnich rang				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
DS	0,493	0,614	0,748	0,789	0,724	10,500	10,571	11,714	12,179	12,571
KP	0,360	0,463	0,193	0,059	0,161	8,500	8,571	6,536	5,679	6,714
LB	0,230	0,450	0,245	0,000	0,364	6,286	7,857	7,536	4,964	8,536
LS	0,035	0,000	0,000	0,077	0,000	4,000	2,857	4,500	5,536	3,750
LD	0,216	0,420	0,359	0,414	0,343	6,929	7,429	8,786	9,857	8,929
MP	0,481	0,721	0,591	0,685	0,572	10,536	11,500	10,536	11,286	10,857
MZ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	12,679	11,071	11,714	12,357	12,571
OP	0,429	0,396	0,399	0,365	0,400	7,714	7,071	8,321	8,321	8,286
PK	0,780	0,971	0,607	0,636	0,617	12,000	12,571	11,179	10,393	11,107
PL	0,196	0,252	0,540	0,506	0,243	6,143	5,643	8,786	8,571	6,786
PM	0,436	0,667	0,262	0,434	0,503	8,821	10,714	7,786	8,464	10,000
SL	0,852	0,813	0,686	0,551	0,791	13,571	11,929	12,500	10,643	13,071
ŚK	0,229	0,253	0,259	0,143	0,044	6,893	5,500	7,500	5,750	4,643
WM	0,232	0,259	0,020	0,048	0,005	6,643	6,214	4,464	5,000	3,179
WP	0,439	0,731	0,303	0,578	0,375	10,371	11,714	8,321	11,071	9,071
ZP	0,000	0,170	0,094	0,069	0,172	4,429	4,786	5,821	5,929	5,929
MIN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,000	2,857	4,464	4,964	3,179
MAX	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	13,571	12,571	12,500	12,357	13,071
SR	0,401	0,511	0,394	0,397	0,395	8,501	8,500	8,500	8,500	8,500
SD	0,281	0,291	0,280	0,305	0,293	2,870	3,001	2,503	2,690	3,138
Q1	0,226	0,258	0,232	0,075	0,169	6,554	6,071	7,259	5,732	6,518
Q3	0,484	0,724	0,595	0,593	0,583	10,509	11,178	10,697	10,750	10,920
J.p.	Metody wzorcowe									
	Metoda wzorca rozwoju Hellwiga					Metoda TOPSIS				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
DS	0,320	0,316	0,398	0,455	0,438	0,412	0,426	0,521	0,547	0,525
KP	0,255	0,233	0,160	0,129	0,168	0,377	0,392	0,378	0,348	0,330
LB	0,182	0,236	0,195	0,101	0,265	0,292	0,358	0,316	0,232	0,354
LS	0,079	0,017	0,063	0,115	0,092	0,223	0,164	0,277	0,293	0,180
LD	0,161	0,192	0,227	0,284	0,261	0,302	0,352	0,367	0,395	0,337
MP	0,325	0,375	0,334	0,392	0,397	0,356	0,411	0,420	0,455	0,404
MZ	0,527	0,449	0,453	0,513	0,545	0,630	0,577	0,599	0,613	0,636
OP	0,225	0,195	0,200	0,235	0,256	0,531	0,437	0,504	0,509	0,506
PK	0,395	0,433	0,320	0,353	0,374	0,535	0,558	0,469	0,477	0,469
PL	0,160	0,153	0,227	0,243	0,200	0,366	0,349	0,493	0,491	0,359
PM	0,291	0,364	0,163	0,292	0,362	0,406	0,453	0,365	0,413	0,431
SL	0,455	0,395	0,389	0,359	0,474	0,502	0,495	0,418	0,422	0,503
ŚK	0,189	0,156	0,193	0,171	0,118	0,297	0,244	0,334	0,291	0,171
WM	0,179	0,143	0,066	0,085	0,077	0,309	0,280	0,276	0,320	0,196
WP	0,301	0,383	0,203	0,358	0,277	0,387	0,470	0,353	0,459	0,349
ZP	0,066	0,114	0,121	0,152	0,183	0,237	0,281	0,279	0,320	0,278
MIN	0,066	0,017	0,063	0,085	0,077	0,223	0,164	0,276	0,232	0,171
MAX	0,527	0,449	0,453	0,513	0,545	0,630	0,577	0,599	0,613	0,636
SR	0,257	0,260	0,232	0,265	0,280	0,385	0,390	0,398	0,412	0,377
SD	0,128	0,130	0,116	0,132	0,140	0,115	0,112	0,097	0,105	0,132
Q1	0,175	0,155	0,162	0,146	0,179	0,301	0,332	0,330	0,320	0,317
Q3	0,321	0,377	0,324	0,358	0,380	0,435	0,457	0,475	0,481	0,478

Oznaczenia: J.p. – jednostka przestrzenna; DS – dolnośląskie; KP – kujawsko-pomorskie; LB – lubelskie; LS – lubuskie; LD – łódzkie; MP – małopolskie; MZ – mazowieckie; OP – opolskie; PK – podkarpackie; PL – podlaskie; PM – pomorskie; SL – śląskie; ŚK – świętokrzyskie; WM – warmińsko-mazurskie; WP – wielkopolskie; ZP – zachodniopomorskie.

MIN – wartość minimalna; MAX – wartość maksymalna; SR – wartość średnia; SD – odchylenie standardowe; Q1 – kwartył pierwszy; Q3 – kwartył trzeci.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [*Bank Danych Lokalnych*].

Na podstawie wartości syntetycznych mierników rozwojowych utworzono rankingi województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw. W przypadku wszystkich zastosowanych metod, średnioroczne najniższe lokaty odnotowano w województwach: lubuskim, warmińsko-mazurskim i zachodniopomorskim. Tak niskie lokaty tych województw są pochodną niskich bądź bardzo niskich wartości uwzględnionych zmiennych cząstkowych.

**TABELA 2.**  
**Uporządkowanie województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw**

J-p.	I			II			III			IV		
	2010'	2012'	2014'	2010'	2012'	2014'	2010'	2012'	2014'	2010'	2012'	2014'
DS	5	2	3	5	2	2	4	2	3	5	2	2
KP	8	12	13	8	8	12	9	13	13	8	10	11
LB	11	9	8	14	13	9	11	12	9	13	8	8
LS	15	15	15	16	15	15	15	16	16	16	12	14
LD	13	6	9	12	9	11	13	8	10	10	5	7
MP	4	4	4	10	6	7	5	5	5	4	4	4
MZ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
OP	9	8	10	3	3	3	8	7	7	9	6	9
PK	3	5	5	2	5	5	3	4	4	3	3	3
PL	14	6	11	9	4	8	14	6	11	14	5	10
PM	7	11	6	6	10	6	7	10	6	7	7	5
SL	2	3	2	4	7	4	2	3	2	1	1	1
ŚK	10	10	14	13	12	16	12	11	14	11	9	13
WM	12	14	16	11	16	14	10	15	15	12	13	15
WP	6	7	7	7	11	10	6	9	8	6	6	6
ZP	16	13	12	15	14	13	16	14	12	15	11	12

Oznaczenia: jak w tabeli 1.

I – metoda wzorca rozwoju Hellwiga; II – metoda TOPSIS; III – metoda sum standaryzowanych; IV – metoda średnich rang.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [*Bank Danych Lokalnych*].

W poszczególnych latach nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy lokatami poszczególnych województw w rankingach, uzyskanych na podstawie wykorzystanych metod porządkowania. W celu zbadania zbieżności wyników osiągniętych za pomocą czterech różnych metod, obliczono wartości współczynników korelacji rang Spearmana pomiędzy nimi. W analizowanym okresie współczynniki te były bardzo wysokie i przekraczały wartość 0,780. Wartość krytyczna współczynnika korelacji rangowej Spearmana na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  i dla 16 obserwacji wynosiła 0,5029, stąd można wnioskować,

że istnieje istotna statystycznie zbieżność uporządkowania województw pomiędzy poszczególnymi zestawieniami. W celu uzupełnienia analiz<sup>7</sup>, obliczono wartości współczynników korelacji  $\tau$  Kendalla. Zdecydował o tym współczynnik korelacji rang Spearmana, który nie uwzględnia faktu, iż odległości<sup>8</sup> między sąsiednimi wartościami są nieznanne (a nie równe). Analiza współczynników korelacji  $\tau$  Kendalla potwierdziła wysoką zgodność uporządkowania różnymi metodami taksonomicznymi.

TABELA 3.

**Zgodność wyników porządkowania województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw (wartości maksymalne i minimalne współczynnika korelacji rang Spearmana i korelacji  $\tau$  Kendalla w analizowanym okresie)**

	Metoda wzorca rozwoju Hellwiga		Metoda TOPSIS		Metoda sum standaryzowanych		Metoda średnich rang	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Metoda wzorca rozwoju Hellwiga (max/min)	1,000	1,000						
Metoda TOPSIS (max/min)	0,936/ 0,780	0,817/ 0,577	1,000	1,000				
Metoda sum standaryzowanych (max/min)	0,985/ 0,968	0,933/ 0,867	0,929/ 0,827	0,817/ 0,644	1,000	1,000		
Metoda średnich rang (max/min)	0,986/ 0,953	0,929/ 0,850	0,891/ 0,815	0,767/ 0,628	0,977/ 0,962	0,917/ 0,850	1,000	1,000

Oznaczenia: I – współczynnik korelacji rang Spearmana; II – współczynnik korelacji  $\tau$  Kendalla.

Źródło: opracowanie własne.

Tak wysoka zgodność wyników, pochodzących z czterech różnych metod postępowania, może wskazywać na to, że otrzymany obraz poziomu innowacyjności jest poprawny, a dobór zmiennych właściwy. Innymi słowy, uporządkowanie można uznać za stabilne [por. Balicki, 2009, s. 344].

Z uwagi na dużą zgodność wyników porządkowania liniowego, w dalszej analizie skupiono się na wynikach uzyskanych metodą TOPSIS. W odróżnieniu od metody wzorca rozwoju Hellwiga (najczęściej stosowanej przez badaczy), w metodzie tej jest uwzględniona odległość euklidesowa zarówno od wzorca, jak i od antywzorca rozwoju.

Na podstawie analizy wartości mierników SMIP (obliczonych metodą TOPSIS) można stwierdzić, że w Polsce istnieje znaczne regionalne zróżnicowanie poziomu innowacyjności przedsiębiorstw. Średnia wartość syntetycznego miernika SMIP w latach 2010-2014 kształtowała się na poziomie około 0,39. Najwyższy poziom tego miernika osiągnęły podmioty zlokalizowane w województwach: mazowieckim (wartości oscylo-

<sup>7</sup> W opinii niektórych statystyków [por. Stanisław, 2006, s. 377; Walesiak, 1991, s. 15], współczynnik korelacji rang Spearmana nie może być stosowany do oceny zbieżności uporządkowań.

<sup>8</sup> Współczynnik korelacji rang nie uwzględnia odległości, tylko porządek między wartościami.

waly między 0,577 a 0,636) i podkarpackim (gdzie średnioroczna wartość tego miernika wyniosła 0,502). Najniższe wartości uzyskaly województwa lubuskie (gdzie w analizowanym okresie wartość obliczonego miernika nie przekroczyła 0,3) i świętokrzyskie (gdzie w analizowanym okresie średnioroczna wartość tego miernika wyniosła około 0,27). Warto zauważyć, że miernik syntetyczny najczęściej (wyjątek stanowił 2011 rok) charakteryzował się asymetrią prawostronną<sup>9</sup>, co oznacza, że dominowały wartości nieprzekraczające średniej arytmetycznej SMIP.

Należy zwrócić uwagę na to, że nie zarysował się wyraźny podział na część zachodnią i część wschodnią kraju w zakresie innowacyjności jednostek gospodarczych. Można więc przypuszczać, że innowacyjność przedsiębiorstw (w skali mezo) w słabym stopniu jest warunkowana zaszłościami historycznymi.

Dla kompletności analizy mierników, uzyskanych metodą TOPSIS, województwa zostały pogrupowane pod względem podobieństwa poziomu innowacyjności przedsiębiorstw, za pomocą tzw. metody progowej, na cztery klasy: I – o bardzo wysokim mierniku rozwoju, dla których  $m_i \geq \bar{m} + c \cdot s_m$ ; II – o wysokim mierniku rozwoju, dla których  $\bar{m} \leq m_i \leq \bar{m} + c \cdot s_m$ ; III – o niskim mierniku, dla których  $\bar{m} - c \cdot s_m \leq m_i \leq \bar{m}$ ; IV – o bardzo niskim mierniku rozwoju, dla których  $m_i < \bar{m} - c \cdot s_m$ , gdzie  $s_m$  to odchylenie standardowe wartości miernika rozwoju, zaś  $c$  jest pewną stałą większą bądź równą 1. Średnia arytmetyczna wartość miernika rozwoju wahała się w zależności od analizowanego okresu od 0,377 do 0,412, natomiast odchylenie standardowe od 0,097 do 0,132, a stałej  $c$  przypisano wartość 1. Na tej podstawie otrzymano podział zaprezentowany w poniższej tabeli.

**TABELA 4.**  
**Wyniki grupowania województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw metodą progową**

Gr.	2010	2011	2012	2013	2014
I	MZ, OP, PK, SL	MZ, PK	DS, MZ, OP	DS, MZ	DS, MZ
II	DS, PM, WP,	DS, KP, MP, OP, PM, SL, WP	MP, PK, PL, SL	MP, OP, PK, PL, PM, SL, WP	MP, OP, PK, PM, SL
III	KP, LB, ŁD, MP, PL, ŚK, WM	LB, ŁD, PL, WM, ZP	KP, LB, ŁD, PM, ŚK, WP	KP, ŁD, WM, ZP	KP, LB, ŁD, PL, WP, ZP
IV	LS, ZP	LS, ŚK	LS, WM, ZP	LB, LS, ŚK	LS, ŚK, WM

Oznaczenia: jak w tabeli 1.

Źródło: opracowanie własne.

W analizowanym okresie do grupy o najwyższym poziomie innowacyjności przedsiębiorstw najczęściej zostały zakwalifikowane województwa: mazowieckie (5 razy) i dolnośląskie (3 razy). Pierwsza grupa charakteryzowała się znacznie wyższymi wartościami

<sup>9</sup> Obliczenia własne na podstawie: [Bank Danych Lokalnych].

cząstkowych wskaźników dotyczących innowacyjności przedsiębiorstw w porównaniu z pozostałymi. Najczęściej wiązało się to z kwestią nakładów na działalność innowacyjną w przedsiębiorstwach z sektora usług i sektora przemysłowego, a także liczbą zgłoszonych wynalazków oraz liczbą udzielonych patentów. Drugie skupienie tworzyły województwa, których cząstkowe wskaźniki poziomu innowacyjności przedsiębiorstw w większości przypadków przewyższały średnie wartości, jednak w mniejszym stopniu niż to miało miejsce w przypadku województw należących do pierwszej grupy. Trzecią grupę stanowiły województwa, których wskaźniki najczęściej miały wartość zbliżoną do przeciętnej lub niższą. Do najniższej grupy najczęściej były kwalifikowane województwa: lubuskie (5-krotnie) oraz świętokrzyskie (3-krotnie). W województwach tych zaobserwowano szczególnie niskie wskaźniki dotyczące: zatrudnienia w B+R w sektorze przedsiębiorstw, relacji nakładów wewnętrznych na działalność B+R do PKB, jak również liczby zgłoszonych wynalazków i liczby udzielonych patentów.

W celu pogłębienia analiz, oprócz metody bazującej na syntetycznych miernikach rozwoju, dokonano klasyfikacji województw za pomocą dwóch metod opartych na podobieństwie taksonomicznym – metody Warda (jako sposób mierzenia odległości między obiektami wykorzystano kwadrat odległości euklidesowej po to, aby przypisać większą wagę obiektom bardziej oddalonym od innych) i metody PAM (*Partitioning Around Medoids*).

Metoda Warda jest dość szeroko opisywana w literaturze statystycznej [Młodak, 2006; Panek, Zwierzchowski, 2013], dlatego w niniejszym artykule zrezygnowano ze szczegółowego opisu algorytmu tej metody. Metoda ta zmierza do minimalizacji sumy kwadratów odchylenia wewnątrz skupień. Na każdym etapie łączenia grup obiektów, ze wszystkich możliwych do łączenia grup obiektów, łączy się w jedną grupę te grupy, które w rezultacie tworzą grupę obiektów o najmniejszym zróżnicowaniu ze względu na opisujące je zmienne. Miara tego zróżnicowania jest kryterium sumy kwadratów błędów – ESS (*Error Sum of Squares*), wyrażone wzorem:

$$ESS = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2, \quad (17)$$

gdzie:

$x_i$  – wartość zmiennej będącej kryterium segmentacji dla  $i$ -go obiektu;

$k$  – liczba obiektów w skupieniu.

W powszechnej opinii efektywność wykrywania prawdziwej struktury danych, stosując tę metodę, jest znacznie wyższa w porównaniu z innymi metodami aglomeracyjnymi, lecz ma tendencję do łączenia skupień zawierających niewielką liczbę obserwacji oraz generowania skupień o zbliżonej liczebności [Metody oceny rozwoju regionalnego, 2006, s. 236; Młodak, 2006, s. 73-74].

Znacznie rzadziej wykorzystywaną metodą klasyfikacji jest metoda podziałowa PAM. Należy ona do stosunkowo nowych metod klasyfikacji (algorytm grupowania wokół medoidów został zaproponowany przez Kaufmana i Rousseeuwa w 1987 roku). Algorytm<sup>10</sup> polega na wyszukaniu  $k$  obiektów reprezentatywnych, które są centralnie położone w klastrach (tzw. medoidy). Reprezentantem klastra jest obiekt, w którym średnia odmiennosc

<sup>10</sup> Uproszczony algorytm opisano na podstawie: [IDAMS..., 2008, s. 321-323].

(odległość do reprezentanta) wszystkich obiektów w klastrze jest minimalna. W rzeczywistości algorytm PAM minimalizuje sumę odmienności, zamiast średniej odmienności. Wybór  $k$  medoidów przeprowadza się na dwóch etapach. Na pierwszym etapie uzyskuje się podział wstępny poprzez kolejny wybór reprezentatywnych obiektów, aż do momentu sprawdzenia  $k$  obiektów. Pierwszym obiektem jest ten, dla którego suma odmienności do wszystkich innych obiektów jest tak mała, jak to tylko możliwe (jest to swojego rodzaju „wielowymiarowa mediana” obiektów  $m$ , stąd termin „medoid”). Następnie w każdym kroku jest wybierany obiekt, który zmniejsza funkcję celu (sumę odmienności) w jak największym stopniu. Druga faza polega na próbie poprawy zestawu reprezentatywnych obiektów. Odbyna się to w wyniku uwzględnienia wszystkich par obiektów  $(i, h)$ , dla których obiekt  $i$  został wybrany do zbioru reprezentantów, natomiast obiekt  $h$  nie należy do zbioru reprezentantów, sprawdzając, czy po zamianie  $i$  na  $h$ , zmniejsza się funkcja celu. Końcowa średnia odległość (odmienność) – która jest postrzegana jako miernik „dobroci” ostatecznego grupowania – wyrażona jest wzorem:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m d_{i,r(i)}}{m}, \quad (18)$$

gdzie:

$r(i)$  jest reprezentantem (medoidem) najbliższego obiektu  $i$ .

W celu ułatwienia interpretacji, wyniki procedury klasyfikacji przedstawiono w kolejności malejącej, według średnich arytmetycznych syntetycznych mierników (uzyskanych metodą TOPSIS) wewnątrz danego skupienia.

**TABELA 5.**

**Klasyfikacja województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw, uzyskana metodą Warda i metodą PAM**

Gr.	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Metoda Warda</b>					
I	MZ	MZ	MZ	MZ	MZ
II	OP, PK, SL	MP, PK, PM, WP	DS, MP, OP, PK, PL, SL	DS, ŁD, MP, PM, SL, WP	DS, SL
III	DS, ŁD, MP, PM	DS, ŁD, SL	PM	OP, PK, PL	ŁD, MP, PK, PM, WP
IV	KP, LB, LS, PL, ŚK, WM, WP, ZP	KP, LB, LS, OP, PL, SK, WM, ZP	KP, LB, LS, ŁD, ŚK, WM, WP, ZP	KP, LB, LS, ŚK, WM, ZP	KP, LB, LS, OP, PL, ŚK, WM, ZP
<b>Metoda PAM</b>					
I	MZ	MZ	MZ	MZ	MZ
II	PK	PK	DS, MP, SL	PK	ŁD, MP, PK, PM, WP
III	DS, KP, ŁD, MP, OP, PM, SL, WP	DS, ŁD, MP, OP, PM, SL	LB, ŁD, PM, WP	DS, ŁD, MP, PM, SL, WP	DS, LB, OP, PL, SL
IV	LB, LS, PL, ŚK, WM, ZP	KP, LB, LS, PL, ŚK, WM, WP, ZP	KP, LS, OP, PK, PL, ŚK, WM, ZP	KP, LB, LS, OP, PL, ŚK, WM, ZP	KP, LS, ŚK, WM, ZP

Oznaczenia: jak w tabeli 1.

Źródło: opracowanie własne.



Zastosowanie różnych metod klasyfikacji przyczyniło się do uzyskania różnorodnych rezultatów grupowania w poszczególnych latach. Niezgodności te mogą być następstwem m.in. odmiennego sposobu obliczania odległości między obiektami czy też odległości między samymi skupieniami. Zarówno w przypadku metody PAM, jak i metody Warda w całym analizowanym okresie wyodrębniono jednoelementową grupę, którą tworzyło województwo mazowieckie. W celu oceny zgodności klasyfikacji metodą PAM i metodą Warda wykorzystano skorygowany indeks Randa ( $ARI$ ), wyrażony wzorem [Santos, Embrechts, 2009, s. 178]:

$$ARI = \frac{\binom{n}{2}(a+d) - [(a+b)(a+c) + (c+d)(b+d)]}{\binom{n}{2}^2 - [(a+b)(a+c) + (c+d)(b+d)]}, \quad (19)$$

gdzie:

$a$  – pary obiektów należące do tych samych skupień w grupie  $U$  i grupie  $V$ ;

$b$  – pary obiektów umieszczone w tej samej grupie  $U$ , ale różnych w  $V$ ;

$c$  – pary obiektów umieszczone w tej samej grupie  $V$ , ale różnych w  $U$ ;

$d$  – pary obiektów należące do różnych grup  $U$  i  $V$ , gdzie porównaniu ulegały podziały  $U = (u_1, u_2, \dots, u_r)$  i  $V = (v_1, v_2, \dots, v_c)$ .

Wartości skorygowanego indeksu Randa<sup>11</sup> w analizowanym okresie były wysokie i wahały się od 0,633 do 0,883.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że bez względu na zastosowaną metodę klasyfikacji, utworzone przestrzenne skupienia województw nie objęły zwartych przestrzennie obszarów. Ponadto, analiza uzyskanych skupień dowodzi, że nie zarysował się wyraźny podział kraju na część wschodnią i zachodnią, co utwierdza w przekonaniu, że innowacyjność przedsiębiorstw w słabym stopniu była determinowana czynnikami historycznymi.

Po dokonaniu klasyfikacji różnymi metodami, zweryfikowano ich poprawność [por. Młodak, 2006, s. 77-82]. W związku z tym wyznaczono mierniki homo- i heterogeniczności. Mierniki homogeniczności określają poziom jednorodności skupień (im mniejsza ich wartość, tym lepiej), natomiast mierniki heterogeniczności – poziom odrębności grup obiektów (wyższe wartości tego miernika świadczą o większym dystansie między skupieniami).

Do oceny homogeniczności skupień wykorzystano miernik odzwierciedlający średnią arytmetyczną odległość obiektów w grupie, opisany za pomocą wzoru:

$$bm = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \bar{d}_l; \quad \bar{d}_l = \frac{1}{(n_l^2 - n_l)} \sum_{i=1}^{n_l} \sum_{j=1}^{n_l} d_{ij}, \quad (20)$$

gdzie:

$n_l$  – liczebność  $l$ -tej grupy;

$k$  – liczba grup.

<sup>11</sup> Wartości indeksu Randa: w 2010 roku – 0,717; w 2011 roku – 0,633; w 2012 roku – 0,650; w 2013 roku – 0,883, w 2014 roku 0,825.

W celu dokonania oceny heterogeniczności skupień obliczono miernik odzwierciedlający średnią arytmetyczną między grupami, wyrażony wzorem:

$$hr = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k d_{\min}^{(l,r)}, \quad d_{\min}^{(l,r)} = \min_p (\min_{o \notin \{p\}} d_{p,o}); \quad (21)$$

$\{p\}$  – zbiór obiektów  $l$ -tej grup;

$p$  – obiekt należący do zbioru  $\{p\}$ ;

$o$  – zbiór obiektów nienależących do grupy  $l$ .

Miara poprawności skupień jest ilorazem miary homogeniczności i heterogeniczności.

Rezultaty oceny poprawności grupowań dla wykorzystanych metod klasyfikacji w całym analizowanym okresie przedstawiono w tabeli 6.

**TABELA 6.**  
**Sumaryczne mierniki homogeniczności, heterogeniczności oraz poprawności skupień**

Rok	Sumaryczne mierniki					
	Homogeniczności skupień		Heterogeniczności skupień		Poprawności skupień	
	I	II	I	II	I	II
2010	1,868	40,275	3,795	68,284	0,492	0,590
2011	2,019	40,406	4,001	60,483	0,505	0,668
2012	2,905	25,844	3,269	76,852	0,889	0,336
2013	1,984	34,951	3,872	64,979	0,512	0,538
2014	2,759	32,100	3,582	69,171	0,770	0,434

Oznaczenia: I – metoda PAM; II – metoda Warda.

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki oceny efektywności grupowań w poszczególnych latach nie są jednoznaczne. Dla danych z 2010, 2011 i 2013 roku efektywniejszą okazała się metoda PAM, natomiast dla danych z 2012 i 2014 roku metoda Warda. Z racji innowacyjności przedsiębiorstw znaczące różnice w ocenie efektywności klasyfikacji województw za pomocą metody PAM i metody Warda, widoczne były przede wszystkim dla danych z 2012 roku, gdzie dla metody Warda uzyskano znacznie niższe wartości miernika homogeniczności niż w pozostałych latach, przy jednocześnie o wiele wyższej wartości miernika heterogeniczności skupień.

#### 4. Podsumowanie

W artykule wyznaczono syntetyczne mierniki innowacyjności przedsiębiorstw za pomocą czterech metod taksonomicznych, które posłużyły uszeregowaniu województw ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw. W wyniku przeprowadzonych badań utworzono cztery grupy województw, charakteryzujące się podobnym poziomem innowacyjności przedsiębiorstw. Przeprowadzona analiza dowodzi, że najwyższym poziomem innowacyjności przedsiębiorstw charakteryzowały się województwa: mazowieckie i śląskie, odznaczające się dobrym nasyceniem w infrastrukturę instytucjonalną. Bardzo niskie lokaty uzyskały województwa: lubuskie, warmińsko-mazurskie i zachodniopomorskie, czyli województwa słabo zindustrializowane.

Przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować znaczne dysproporcje między poszczególnymi województwami w zakresie poziomu innowacyjności przedsiębiorstw. Zasadne wydaje się podjęcie działań mających na celu zniwelowanie różnic regionalnych w analizowanym aspekcie. Konieczna staje się zarówno aktywizacja działań wewnątrzorganizacyjnych zorientowanych w stronę działań proinnowacyjnych, jak i rozbudowa regionalnej infrastruktury instytucjonalnej, stymulującej tworzenie i absorpcję innowacji. Warto w tym miejscu nadmienić, że analizując wyniki grupowania uzyskane metodą progową, uwidoczniło się pewne negatywne zjawisko, jakim jest dominacja województw cechujących się niższym poziomem innowacyjności przedsiębiorstw, niż wartość średnia syntetycznego miernika innowacyjności przedsiębiorstw.

Należy podkreślić, że pomimo zastosowania czterech różnych metod porządkowania liniowego ze względu na poziom innowacyjności przedsiębiorstw, w poszczególnych latach nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy lokatami danych województw, co świadczy o stabilności uporządkowań. Potwierdziły to bardzo wysokie wartości współczynników korelacji rang Spearmana oraz korelacji  $\tau$  Kendalla.

Wyniki oceny efektywności grupowań województw z uwagi na poziom innowacyjności przedsiębiorstw, otrzymane dzięki stosunkowo rzadko wykorzystywanej metodzie PAM, wskazują, że może ona być bardzo użyteczna w wielowymiarowych analizach porównawczych.

Zrealizowane w ramach artykułu badania i uzyskane wyniki mogą stanowić materiał do dalszych analiz z wykorzystaniem innych metod statystycznych i/lub innych zmiennych diagnostycznych bądź zachęcić do realizacji podobnych badań na poziomie innych jednostek samorządu terytorialnego (gmin, powiatów).

## Literatura

- Allen J.A., 1966, *Scientific Innovation and Industrial Prosperity*, Longman, London.
- Balicki A., 2009, *Statystyczna analiza wielowymiarowa i jej zastosowanie społeczno-ekonomiczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Bank Danych Lokalnych*, Główny Urząd Statystyczny, www.stat.gov.pl (data wejścia: 09.06.2016).
- Chądzyński J., Nowakowska A., Przygodzki Z., 2007, *Region i jego rozwój w warunkach globalizacji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa.
- Czerska M., Szpitter A.A., 2010, *Konceptje zarządzania. Podręcznik akademicki*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- Davila T., Epstein M.J., Shelton R., 2006, *Making Innovation Work. How to Manage It, and Profit from It*, Wharton School Publishing, New Jersey.
- Dziechciarz J., 2002, *Ekonometria. Metody, przykłady, zadania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Hwang C.L., Yoon, K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.
- IDAMS. *Internationally Developed Data Analysis and Management Software Package*, 2008, UNESCO, Paris.
- Innovation Union Scoreboard 2011, 2012*, European Commission, Belgium.

- Jasiński A.H., 1992, *Przedsiębiorstwo innowacyjne na rynku*, Wydawnictwo „Książka i Wiedza”, Warszawa.
- Matusiak K.B., 2010, *Budowa powiązań nauki z biznesem w gospodarce opartej na wiedzy. Rola i miejsce uniwersytetu w procesach innowacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, Warszawa.
- Metody oceny rozwoju regionalnego*, Strahl D. (red.), 2006, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Młodak A., 2006, *Analiza taksonomiczna w statystyce regionalnej*, Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- Panek T., Zwierchowski J., 2013, *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Teoria i zastosowania*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, Warszawa.
- Piotrowska E., Roszkowska E., 2011, *Analiza zróżnicowania województw Polski pod względem poziomu innowacyjności*, [w:] *Raport o innowacyjności gospodarki Polski w 2010 roku*, T. Baczek (red.), Instytut Nauk Ekonomicznych PAN, Warszawa.
- Piotrowska E., Roszkowska E., 2014, *Wielowymiarowa analiza poziomu działalności B+R w Polsce w latach 2005-2011*, „Optimum. Studia Ekonomiczne”, nr 1 (67).
- Plawgo B., Klimczak T., Czyż P., Boguszewski R., Kowalczyk A., 2013, *Regionalne Systemy Innowacji w Polsce – raport z badań*, PARP, Warszawa.
- Podogrodzka M., 2011, *Analiza zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem metod taksonomicznych*, „Wiadomości Statystyczne”, nr 11.
- Podręcznik Oslo. Zasady gromadzenia i interpretacji danych dotyczących innowacji. Wydanie trzecie*, 2008, OECD, Komisja Europejska, Warszawa.
- Santos J.M., Embrechts M., 2009, *On the Use of the Adjusted Rand Index as a Metric for Evaluating Supervised Classification*, Artificial Neural Networks – ICANN, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5769.
- Schumpeter J., 1960, *Teoria rozwoju gospodarczego*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Stanisz A., 2006, *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom I*, StatSoft, Kraków.
- The Bloomberg Innovation Index – Bloomberg Business*, <http://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries> (data wejścia: 01.06.2016).
- Transfer technologii z uczelni do biznesu. Tworzenie mechanizmów transferu technologii*, 2008, Santarek K. (red.), PARP, Warszawa.
- Überholspur Innovation*, 2007, Fraunhofer IAO, August.
- Walesiak M., 1991, *O stosowności miar korelacji w analizie wyników pomiaru porządkowego*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu nr 600, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Wysocki F., 2010, *Metody taksonomiczne w rozpoznawaniu typów ekonomicznych rolnictwa i obszarów wiejskich*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- Wziątek-Kubiak A., Balcerowicz E., 2009, *Determinanty innowacyjności firmy w kontekście poziomu wykształcenia pracowników*, PARP, Warszawa.
- Zeliś A., 2004, *Poziom życia w Polsce i krajach Unii Europejskiej*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.