

dr Paweł Kaczmarczyk

Akademia Mazowiecka w Płocku

Wydział Nauk Społecznych

Katedra Ekonomii

e-mail: p.kaczmarczyk@mazowiecka.edu.pl

Ekspertyza nt. Znaczenie i stopień wykorzystania ICT przez polskie przedsiębiorstwa. Analiza porównawcza województw

Wprowadzenie

Nowoczesne technologie informacyjno-komunikacyjne mają niezwykle ważne znaczenie dla rozwoju przedsiębiorstw. Przykładowo dostęp do Internetu w wyraźny sposób podnosi konkurencyjność przedsiębiorstw (Paszta, 2010, s. 362-369). Wykazany jest również istotny związek pomiędzy nakładami na ICT a wzrostem produktywności (Picot i Wernick, 2007, s. 660-674). ICT umożliwiają sprawniejsze funkcjonowanie na rynku, skuteczniejsze wykorzystanie kapitału intelektualnego oraz wdrożenie nowoczesnych koncepcji zarządzania.

Celem niniejszego opracowania jest analiza i klasyfikacja poziomu rozwoju województw pod względem stopnia wykorzystania ICT przez przedsiębiorstwa. Wykorzystanie ICT jest rozumiane m.in. jako odsetek przedsiębiorstw, w których: wykorzystywane są media społecznościowe, kupowane są usługi w chmurze, wykorzystywane są technologie sztucznej inteligencji, zastosowanie znajdują urządzenia lub systemy Internetu rzeczy. W przeprowadzonych analizach zastosowano metody porządkowania obiektów (województw) oparte na wzorcu rozwoju i bezwzorcowe, a także metody hierarchiczne i optymalizacyjne metody grupowania. Wyniki badań są podstawą formułowania rankingów i wyodrębniania grup pod względem analizowanych cech i dostarczają wiedzy na temat potencjału rozwoju społeczno-gospodarczego poszczególnych województw.

1. Rola ICT w przemyśle 4.0

Technologie informacyjne wpłynęły na rozwój innowacyjności większości sektorów przemysłu, a także na zapoczątkowanie globalnej rewolucji przemysłowej. Zarządzanie operacyjne przedsiębiorstw produkcyjnych ukierunkowane jest głównie na realizacji takich

celów jak podniesienie jakości produktów, poprawa efektywności wytwarzania, minimalizacja kosztów. Realizacja tych celów jest możliwa przy zastosowaniu nowoczesnych narzędzi wspomaganych przez niezawodną wymianę danych.

Do trendów technologicznych oraz koncepcji wykorzystujących zalety systemów ICT w przemyśle można zaliczyć:

- mobilność, która objawia się wzrastającą tendencją do stosowania rozwiązań mobilnych w środowisku biznesowym i przemysłowym,
- przetwarzanie w chmurze umożliwiające dostarczanie oprogramowania i usług ICT w systemie opartym na elastycznych modelach biznesowych powstających na bezpośrednie żądanie użytkownika,
- analitykę dużych zbiorów danych, która pozwala pozyskiwać wartościową wiedzę z dużych zbiorów danych w jak najkrótszym czasie i przy najniższych możliwych kosztach,
- sztuczną inteligencję (m.in. systemy eksperckie, sieci neuronowe, algorytmy genetyczne) i uczenie maszynowe usprawniające proces podejmowania decyzji i automatyzacji w każdym obszarze zarządzania łańcuchem dostaw, tj. w planowaniu łańcucha dostaw, zarządzania logistyką, produkcji, badaniach i rozwoju oraz inżynierii, zarządzaniu zasobami przedsiębiorstwa,
- przemysłowy Internet rzeczy, dzięki któremu możliwe staje się zdalne zarządzanie obiektami lub grupami połączonych obiektów technicznych, monitorowanie przepływu produkcji, zarządzanie zapasami oraz kontrola gospodarki magazynowej, logistyka i optymalizacja łańcucha dostaw, bezpieczeństwo i ochrona instalacji przemysłowych, kontrola jakości, wspomaganie obsługi urządzeń automatyki przemysłowej,
- bezpieczeństwo IT rozumiane jako oprogramowanie i narzędzia służące celom zapewnienia bezpieczeństwa systemów na wszystkich poziomach, narzędzia wdrażane w całym przedsiębiorstwie (m.in. zapory ogniowe, zapobieganie włamaniom i ich wykrywanie, kontrola dostępu, zarządzanie tożsamością, oprogramowanie antywirusowe itp.).

Kluczem do efektywnego funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw przemysłowych (ale również handlowych i usługowych) jest integrowanie technologii operacyjnych oraz ICT (www1; www2; www3).

2. Materiał analityczny

Materiał empiryczny, wykorzystany przez autora opracowania, pochodzi z GUS (GUS, 2021a; GUS, 2021b). Badania przeprowadzono w oparciu o dane pochodzące z roku 2021, ponieważ dane udostępnione przez GUS za rok 2022 (w przypadku niektórych aspektów wykorzystania ICT) zawierały informacje dotyczące roku 2021. Dane zostały zebrane przez GUS w wyniku przeprowadzenia badania SSI-01. Badanie te obejmuje podmioty o liczbie pracujących 10 osób i więcej, które prowadzą działalność gospodarczą zaklasyfikowaną wg Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) 2007 do następujących sekcji:

- sekcja C – przetwórstwo przemysłowe,
- sekcja D – wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą
- wodę i powietrze do układów klimatyzacyjnych,
- sekcja E – dostawa wody; gospodarowanie ściekami i odpadami oraz działalność
- związana z rekultywacją,
- sekcja F – budownictwo,
- sekcja G – handel hurtowy i detaliczny; naprawa pojazdów samochodowych, włączając
- motocykle,
- sekcja H – transport i gospodarka magazynowa,
- sekcja I – działalność związana z zakwaterowaniem i usługami gastronomicznymi,
- sekcja J – informacja i komunikacja,
- sekcja K – działalność finansowa i ubezpieczeniowa,
- sekcja L – działalność związana z obsługą rynku nieruchomości,
- sekcja M – działalność profesjonalna, naukowa i techniczna (bez działu 75 - weterynaria),
- sekcja N – działalność w zakresie usług administrowania i działalność wspierająca,
- z sekcji S – grupa 95.1 naprawa i konserwacja komputerów i sprzętu komunikacyjnego

Badanie SSI-01 przeprowadzane jest metodą reprezentacyjną. W badaniu SSI-01 wykorzystywana jest próba przedsiębiorstw, która stanowi około 18% operatu (GUS, 2021b, s. 160; GUS, 2022b, s. 148).

3. Metodyka badań

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano zarówno metody wzorcowe jak bezwzorcowe wyznaczania miernika syntetycznego (Walesiak, 2004a, s. 351-368; Panek i Zwierzchowski, 2013, s. 57-97). Zastosowano obydwie rodzaje tych metod, w celu stworzenia szerszej podstawy do formułowania wniosków. W metodach bezwzorcowych syntetyczny miernik oblicza się z wykorzystaniem funkcji przekształconych (znormalizowanych) cech zbioru wyjściowego. Zatem w przeprowadzonych badaniach zastosowano średnią arytmetyczną zunitaryzowanych cech (s_i), średnią arytmetyczną znormalizowanych cech (h_i). Z grupy metod wzorcowych zastosowano metodę Hellwiga. Miarę syntetyczną (d_i) wyznaczono w oparciu o zestandaryzowaną macierz danych.

Spośród metod klasyfikacji zastosowano hierarchiczną metodę aglomeracyjną oraz metodę optymalizacji (Walesiak, 2004b, s. 316-350; Everitt, Landau, Leese i Stahl, 2011, s. 71-142; Milligan, 1996, s. 341-375; Kopczewska, Kopczewski i Wójcik, 2015, s. 423-452). Do niewątpliwych zalet hierarchicznych metod aglomeracyjnych należy zaliczyć to, że:

- a) działają według jednej procedury (zwanej centralną procedurą aglomeracyjną);
- b) wyniki klasyfikacji są przedstawiane w postaci ciągu klasyfikacji (istnieje zatem możliwość kontrolowania procesu klasyfikacji);
- c) wyniki klasyfikacji można przedstawić graficznie w formie dendrogramu (drzewka połączeń), wskazującego na kolejność połączeń między klasami. Uzyskana hierarchia umożliwia dokładne określenie, jak są wzajemnie usytuowane poszczególne klasy oraz obiekty w nich zawarte.

Posłużono się algorytmem przyjętym dla metod aglomeracyjnych:

1. W macierzy odległości szuka się pary klas (P_i oraz P_k) najbardziej podobnych (najmniej odległych od siebie).
2. Redukuje się liczbę klas o jeden, łącząc dwie klasy (P_i oraz P_k) w nową.
3. Przekształca się odległości pomiędzy połączonymi klasami $P_i \cup P_k$ oraz pozostałymi klasami.
4. Powtarza się kroki 1-3, aż wszystkie obiekty znajdą się w jednej klasie.

Odległość pomiędzy połączonymi klasami $P_i \cup P_k$ i inną klasą P_l jest zdefiniowana następująco:

$$d(P_i \cup P_k, P_l) = \alpha_i d(P_i, P_l) + \alpha_k d(P_k, P_l) + \beta d(P_i, P_k) + \gamma |d(P_i, P_l) - d(P_k, P_l)| + \delta_i h(P_i) + \delta_k h(P_k) + \varepsilon h(P_l)$$

gdzie:

$\alpha_i, \alpha_k, \beta, \gamma, \delta_i, \delta_k, \varepsilon$ – parametry, których wartości zależą od konkretnego wariantu metody aglomeracyjnej,

$h(P_i)$ – poziom przyłączenia klasy P_l .

Spośród hierarchicznych metod aglomeracyjnych wykorzystano metodę Warda, posługując się metryką Minkowskiego. Metoda Warda (obok metody giętkiej) jest najlepszą hierarchiczną metodą aglomeracyjną pod względem poprawności odkrywania zadanych typów struktur danych. Dla metody Warda wartości parametrów formuły $d(P_i \cup P_k, P_l)$ są następujące:

$$\alpha_i = \frac{w_i + w_l}{w_+}, \beta = \frac{w_i + w_l}{w_+}, \gamma = 0, \delta_i = 0, \varepsilon = 0,$$

gdzie: $w_+ = w_i + w_k + w_l; w$ – liczba obiektów w danej klasie.

W zastosowanej metodzie Warda, odległości między obiektami wyznaczono za pomocą metryki Minkowskiego. Dla dowolnych punktów $x = (x_1, x_2, x_n), y = (y_1, y_2, y_n)$ przestrzeni R^n ich odległość Minkowskiego wyraża się wzorem:

$$L_m(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^m \right)^{1/m}$$

Przy zastosowaniu wymienionej miary odległości oraz metody grupowania, wyniki były najbardziej jednoznaczne, tzn. otrzymane grupy były wyraźnie rozdzielone i względnie równoliczne.

Algorytmy optymalizacyjne mają charakter iteracyjny i bazują na założeniu, że znany jest wstępny podział zbioru n obiektów na u klas. Zadaniem tych metod jest poprawienie (z punktu widzenia zdefiniowanej funkcji kryterium) wstępnego podziału zbioru obiektów. Zastosowaną metodą optymalizacyjną była metoda k -średnich. W metodzie tej zakłada się, że każda klasa jest reprezentowana przez jej środek ciężkości (centroid) oraz poszukuje się takiego podziału zbioru n obiektów na u klas, dla którego wartość funkcji celu jest minimalna. Zastosowana w badaniach funkcja celu była następująca:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2$$

gdzie: $\|$ jest wybraną miarą odległości między obserwacją x i średnią skupienia, do którego jest ona przypisana.

Stosując metodę k -średnich postępowano według przyjętego dla tej metody algorytmu:

1. Punktem wyjścia jest wstępny podział zbioru obiektów na s klas, otrzymany np. przy użyciu dowolnej metody klasyfikacji lub ustalony losowo. Dla każdej klasy wstępnego podziału oblicza się środki ciężkości oraz odległości każdego obiektu od środków ciężkości tych klas.
2. Zmienia się przyporządkowanie obiektów do klas o najbliższym środku ciężkości.
3. Oblicza się nowe środki ciężkości dla każdej klasy.
4. Powtarza się kroki 2 oraz 3 do chwili, gdy wartość funkcji-kryterium jakości klasyfikacji nie wykazuje istotnych zmian.

Metoda Warda posłużyła do ustalenia liczby klas obiektów. Natomiast metoda k -średnich (maksymalizująca odległości skupień) posłużyła do wyboru ostatecznej klasyfikacji.

4. Wyniki badań

Badania przeprowadzono w oparciu o dane pochodzące z roku 2021, ponieważ dane udostępnione przez GUS za rok 2022 (w przypadku niektórych aspektów wykorzystania ICT) zawierały informacje dotyczące roku 2021. Porządkowanymi obiektami były województwa O_i ($i = 1, 2, \dots, 16$). Zmiennymi diagnostycznymi X_j opisującymi porządkowane obiekty były wskaźniki struktury odnoszące się do przedsiębiorstw lub pracowników korzystających z określonego rodzaju ICT ($j = 1, 2, \dots, 24$).

Tabela 1. Wyszczególnienie wstępnie wybranych zmiennych diagnostycznych (część 1)

Województwa	Przedsiębiorstwa wyposażające swoich pracowników w urządzenia przenośne pozwalające na mobilny dostęp do Internetu	X_1
	Pracownicy posiadający dostęp do Internetu	X_2
	Pracownicy wyposażeni w urządzenia przenośne umożliwiające mobilny dostęp do Internetu (np. notebooki, netbooki, tablety, smartfony)	X_3
	Przedsiębiorstwa posiadające szerokopasmowy dostęp do Internetu	X_4
	Przedsiębiorstwa posiadające szerokopasmowy dostęp do Internetu poprzez łącze DSL lub inne stałe łącze szerokopasmowe (np. sieć telewizyjną kablową, sieć światłowodową)	X_5
	Przedsiębiorstwa z dostępem do Internetu gdzie maksymalna prędkość połączenia internetowego określona została w umowie z operatorem na przynajmniej 1 Gbit/s	X_6
	Przedsiębiorstwa posiadające stronę internetową	X_7
	Przedsiębiorstwa, które wykorzystują media społecznościowe	X_8
	Przedsiębiorstwa wykorzystujące otwarte dane publiczne	X_9
	Przedsiębiorstwa wykorzystujące oprogramowanie wspomagające wymianę informacji między różnymi działami przedsiębiorstwa (np. ERP)	X_{10}
	Przedsiębiorstwa wykorzystujące oprogramowanie wspomagające zarządzanie relacjami z klientem (tzw. CRM) pozwalające na zbieranie i przechowywanie informacji o klientach	X_{11}
	Przedsiębiorstwa wykorzystujące oprogramowanie wspomagające zarządzanie relacjami z klientem (tzw. CRM) pozwalające analizowanie informacji o klientach w celach marketingowych (np. tworzenie indywidualnych ofert sprzedażowych, ocena klientów itp.)	X_{12}

Dolnośląskie	77,5	48,9	31,2	99,0	85,8	9,4	72,5	42,6	19,3	31,5	33,2	22,6
Kujawsko-pomorskie	82,9	46,1	26,9	98,8	80,2	7,2	68,7	42,5	17,9	29,8	28,6	20,1
Lubelskie	73,1	46,9	23,6	99,0	82,9	5,7	68,9	43,4	20,0	23,6	23,7	16,6
Lubuskie	80,6	41,6	23,4	98,5	84,5	9,2	67,2	43,7	20,6	30,8	25,8	17,5
Łódzkie	77,7	49,9	28,0	98,7	85,3	10,1	71,0	44,6	16,7	29,1	32,5	19,5
Małopolskie	78,4	56,6	36,6	98,1	86,4	10,5	69,2	47,1	17,1	39,2	39,5	23,6
Mazowieckie	82,9	67,7	47,2	98,0	86,6	14,6	76,1	54,1	22,7	38,6	39,8	28,2
Opolskie	76,6	41,1	24,5	96,1	84,6	8,2	67,4	46,5	15,0	34,0	31,9	19,0
Podkarpackie	74,4	45,2	24,6	98,8	85,7	6,6	66,1	39,5	18,0	27,8	25,2	15,8
Podlaskie	75,0	47,2	25,9	98,8	85,0	9,4	71,9	42,8	16,9	27,0	27,6	18,1
Pomorskie	81,6	54,7	35,3	98,6	86,5	8,7	73,1	44,6	19,2	29,5	29,0	20,1
Śląskie	79,7	47,7	28,3	98,7	87,0	13,7	74,2	44,3	19,8	32,3	30,8	21,2
Świętokrzyskie	68,8	43,0	25,7	98,1	85,7	10,6	61,4	35,9	17,8	21,8	21,2	13,9
Warmińsko-mazurskie	76,7	39,2	20,9	99,6	85,7	7,9	66,5	48,7	18,1	22,6	24,0	15,9
Wielkopolskie	76,3	43,9	26,9	98,4	85,9	8,8	71,1	44,1	17,0	30,5	29,6	21,1
Zachodniopomorskie	77,7	47,3	25,5	98,6	85,6	10,9	69,9	41,8	19,2	29,3	25,4	16,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

Tabela 1. Wyszczególnienie wstępnie wybranych zmiennych diagnostycznych (część 2)

Województwa	Przedsiębiorstwa kupujące usługi w chmurze	Przedsiębiorstwa wykorzystujące urządzenia lub systemy Internetu rzeczy	Przedsiębiorstwa wykorzystujące technologie sztucznej inteligencji	Przedsiębiorstwa prowadzące sprzedaż elektroniczną	Przedsiębiorstwa zapewniające swoim pracownikom szkolenia podnoszące umiejętności z zakresu ICT	Przedsiębiorstwa, które prowadziły rekrutację specjalistów ICT	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na sprzęt informatyczny lub telekomunikacyjny, leasing finansowy lub opracowanie/modyfikacja oprogramowania	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na sprzęt informatyczny lub telekomunikacyjny	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na sprzęt informatyczny	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na sprzęt telekomunikacyjny	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na leasing finansowy urządzeń ICT	Przedsiębiorstwa, które ponosiły nakłady na własne opracowanie lub modyfikacja zakupionego oprogramowania
	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
Dolnośląskie	32,0	18,0	2,6	17,7	25,9	6,6	44,5	42,5	38,6	23,4	2,2	3,9
Kujawsko-pomorskie	24,0	20,5	3,4	16,9	20,6	3,3	38,7	37,3	32,7	19,4	0,8	4,5
Lubelskie	22,3	14,5	1,3	14,6	16,1	2,8	37,6	36,7	33,3	20,2	0,5	4,0
Lubuskie	24,1	19,3	1,8	13,5	20,8	1,8	34,1	34,0	31,0	17,0	1,8	2,2
Łódzkie	26,0	19,6	2,3	15,7	31,3	4,7	38,6	37,0	31,1	19,9	0,7	4,8
Małopolskie	28,9	17,6	2,5	17,3	29,5	5,8	37,4	36,1	32,0	19,7	2,0	4,6
Mazowieckie	38,8	20,5	5,4	19,5	31,9	9,2	43,5	42,2	38,9	23,6	2,2	5,3

Opolskie	26,9	19,4	2,9	16,4	18,0	3,0	33,9	33,1	31,6	15,3	1,8	4,5
Podkarpackie	20,7	18,3	1,0	14,6	20,0	3,2	33,8	33,2	29,9	15,7	0,7	3,0
Podlaskie	20,1	17,6	1,3	19,5	19,9	4,0	33,0	30,5	27,0	17,4	1,6	4,4
Pomorskie	29,1	19,0	3,0	15,4	20,6	4,6	43,9	42,1	38,6	21,5	1,6	4,8
Śląskie	29,3	17,9	2,6	16,7	23,6	4,6	39,1	38,1	34,9	21,2	1,5	3,6
Świętokrzyskie	21,8	12,7	2,3	12,9	19,2	2,1	33,6	31,8	28,0	17,3	0,7	2,8
Warmińsko-mazurskie	19,0	22,2	1,0	15,2	20,4	2,1	31,8	31,0	28,2	15,1	1,4	5,1
Wielkopolskie	27,6	18,4	2,8	17,9	20,5	4,0	39,0	37,1	34,6	20,4	1,7	5,1
Zachodniopomorskie	25,7	18,7	1,2	18,0	27,0	3,7	32,0	31,5	29,4	17,9	0,9	4,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

Wyznaczono wartości statystyk opisowych, spośród których zaprezentowano wartości średniej (\bar{x}), odchylenia standardowego (s), współczynnika zmienności (V) dla wszystkich zmiennych diagnostycznych (tabela 2).

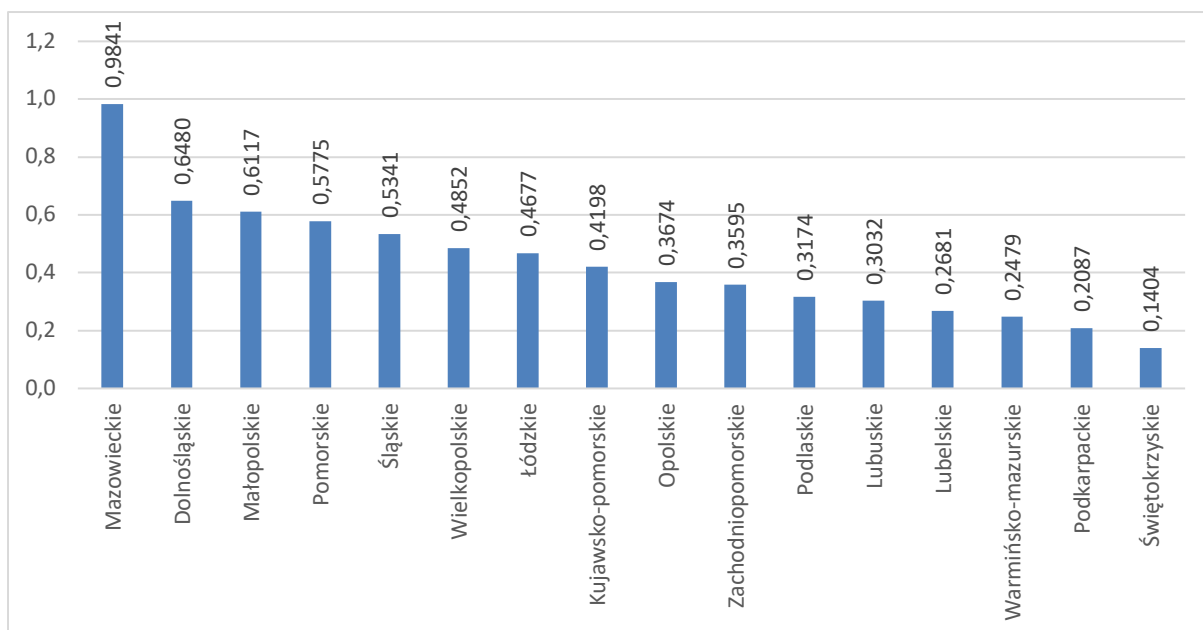
Tabela 2. Wartości statystyk opisowych

zmienna	\bar{x}	s	V	zmienna	\bar{x}	s	V
X_1	77,4938	3,690	0,0476	X_{13}	26,0188	5,053	0,1942
X_2	47,9375	6,990	0,1458	X_{14}	18,3875	2,256	0,1227
X_3	28,4063	6,515	0,2294	X_{15}	2,3375	1,124	0,4809
X_4	98,4875	0,749	0,0076	X_{16}	16,3625	1,947	0,1190
X_5	85,2125	1,658	0,0195	X_{17}	22,8313	4,828	0,2115
X_6	9,4688	2,335	0,2466	X_{18}	4,0938	1,894	0,4627
X_7	69,7000	3,602	0,0517	X_{19}	37,1563	4,226	0,1138
X_8	44,1375	3,977	0,0901	X_{20}	35,8875	3,999	0,1114
X_9	18,4563	1,845	0,1000	X_{21}	32,4875	3,802	0,1170
X_{10}	29,8375	4,905	0,1644	X_{22}	19,0625	2,669	0,1400
X_{11}	29,2375	5,301	0,1813	X_{23}	1,3813	0,578	0,4190
X_{12}	19,3563	3,555	0,1837	X_{24}	4,2125	0,901	0,2139

Źródło: obliczenia własne.

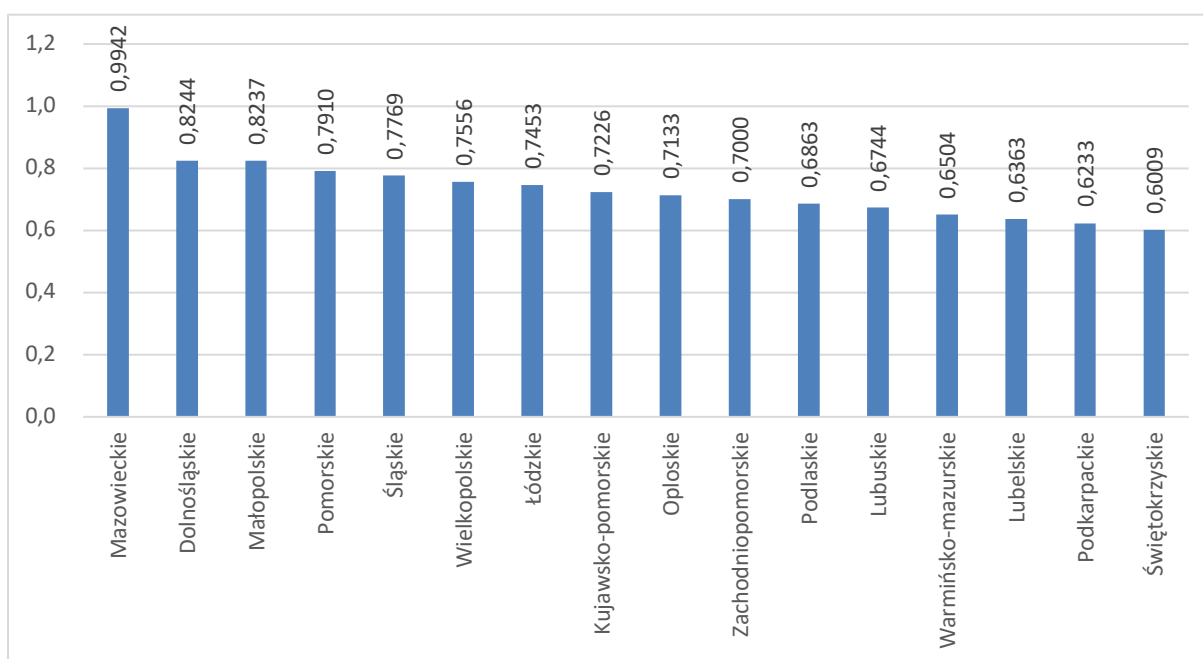
Do dalszych badań przyjęto te zmienne, dla których wartości współczynnika zmienności przekroczyły progową wartość 10%. Do analiz klasyfikacyjnych włączono również zmienną X_8 , pomimo że współczynnik zmienności był równy 9,01%. Zmienna ta jednak posiada dużą wartość merytoryczną w badanym zakresie rozwoju oraz wyznaczona dla niej wartość współczynnika V nie była znacząco niższa od progowej wartości.

Z wykorzystaniem metod bezwzorcowych i metody opartej na wzorcu rozwoju wyznaczono wartości miar syntetycznych, które posłużyły do sformułowania rankingów województw w badanym roku. Wszystkie zmienne potraktowano jako stymulanty. Rankingi województw z wykorzystaniem miary s_i , h_i oraz d_i przedstawiono odpowiednio na wykresie 1, wykresie 2 oraz wykresie 3.



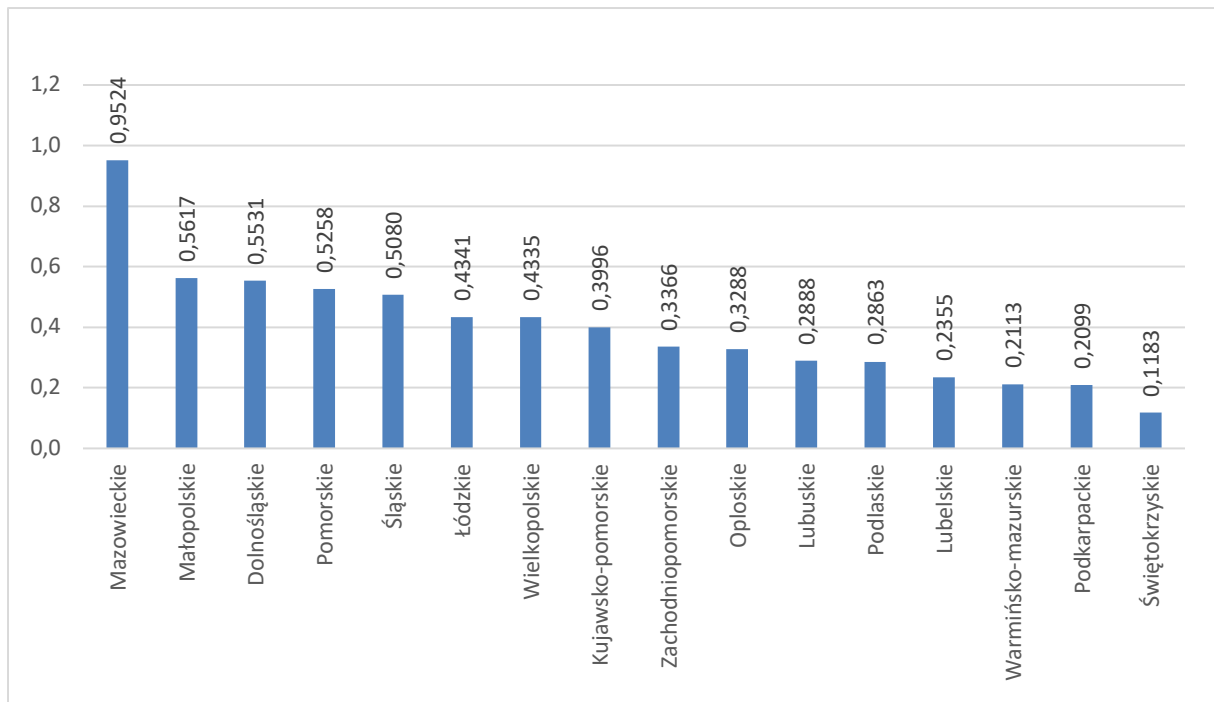
Wykres 1. Ranking województw według miary bezwzorcowej s_i

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.



Wykres 2. Ranking województw według miary bezwzorcowej h_i

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.



Wykres 3. Ranking województw według miary opartej na wzorcu rozwoju d_i

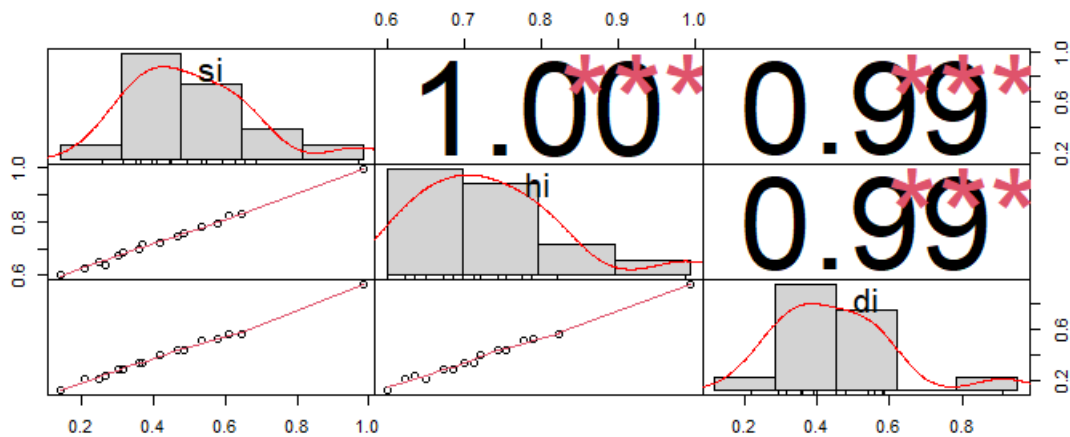
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

We wszystkich trzech rankingach (sformułowanych z wykorzystaniem miar s_i , h_i , d_i) pierwsze miejsce zajęło województwo mazowieckie. W dwóch rankingach (zbudowanych w oparciu o miary s_i , h_i) drugie miejsce zajęło województwo dolnośląskie, a na trzeciej pozycji znalazło się województwo małopolskie. W trzecim rankingu (miara d_i) drugie miejsce zajęło województwo małopolskie, a trzecie miejsce – województwo dolnośląskie. We wszystkich trzech rankingach przedostatnią i ostatnią pozycję zajęło odpowiednio województwo podkarpackie i świętokrzyskie. Słabym poziomem rozwoju wg badanej cechy charakteryzowały się również województwa: warmińsko-mazurskie i lubelskie. Analiza wartości współczynnika koreacji ρ Spearmana oraz τ Kendalla wskazuje, że korelacje pomiędzy uzyskanymi rankingami są statystycznie istotne, co potwierdza wiarygodność uzyskanych wyników. We wszystkich przypadkach wartości współczynników okazały się statystycznie istotne ($\alpha < 0,01$). Wyniki analizy korelacji przedstawiono poniżej.

Tabela 3. Wartości współczynnika korelacji ρ Spearmana dla uzyskanych mierników syntetycznych

Miernik	s_i	h_i	d_i
s_i	1.0000000	0,9970588***	0.9882353***
h_i	0,9970588***	1.0000000	0.9852941***
d_i	0.9882353***	0.9852941***	1.0000000

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.



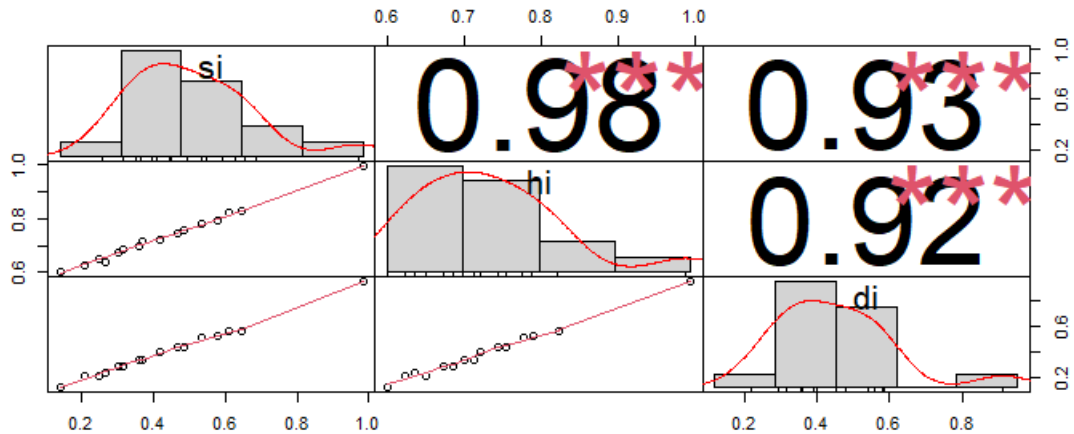
Wykres 4. Rozkład wartości, przebieg oraz współczynniki korelacji ρ Spearmana dla uzyskanych mierników syntetycznych

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.

Tabela 4. Wartości współczynnika korelacji τ Kendalla dla uzyskanych mierników syntetycznych

Miernik	s_i	h_i	d_i
s_i	1.0000000	0.9833333***	0.9333333***
h_i	0.9833333***	1.0000000	0.9166667***
d_i	0.9333333***	0.9166667***	1.0000000

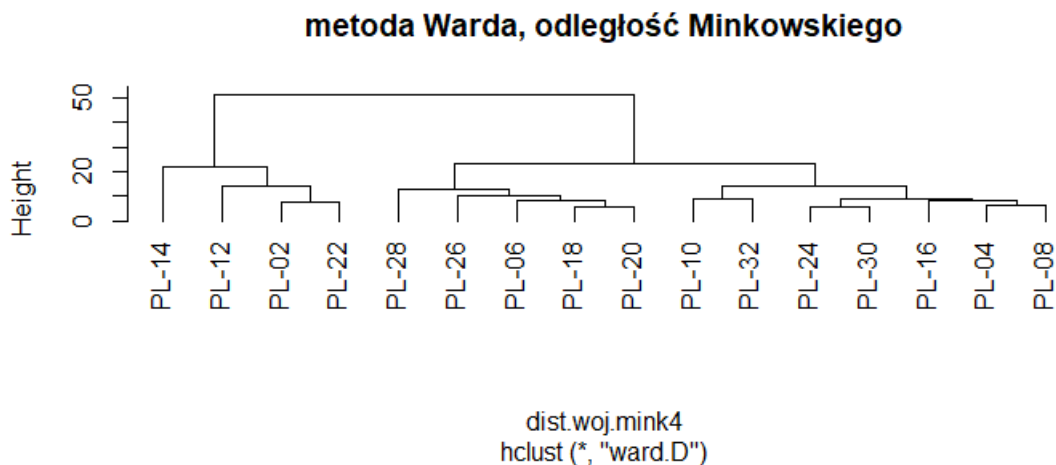
Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.



Wykres 5. Rozkład wartości, przebieg oraz współczynniki korelacji τ Kendalla dla uzyskanych mierników syntetycznych

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.

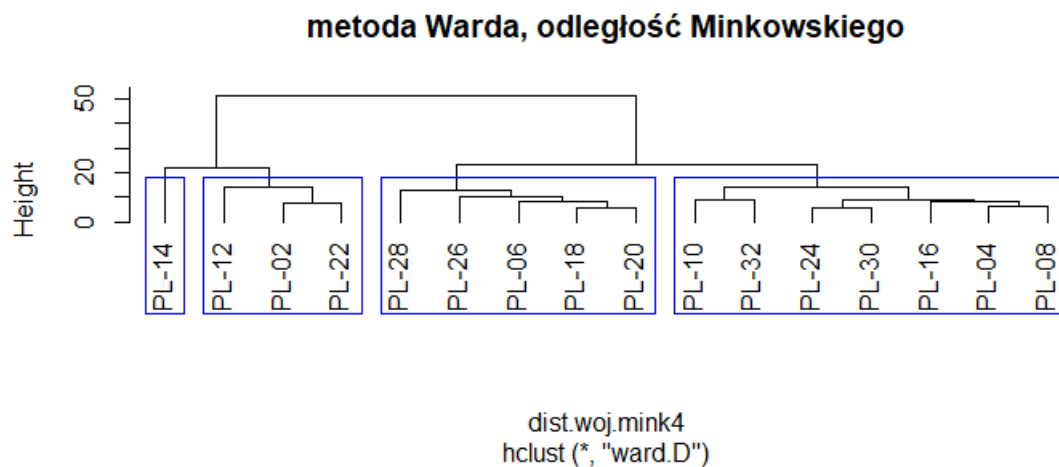
Wyniki klasyfikacji województw z wykorzystaniem metody Warda i odległości Minkowskiego dla badanego roku zaprezentowano wykresie 6. Dla zwiększenia czytelności tego wykresu, do oznaczenia województw wykorzystano kod ISO 3166-2:PL opracowany przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną. Kody wyszczególniono w załączniku 1. Odległości Minkowskiego pomiędzy województwami przedstawiono w załączniku 2.



Wykres 6. Wyniki hierarchicznego grupowania województw

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.

Analiza dendrogramu wskazuje, że wyróżnić można cztery kategorie województw. Pierwszą kategorię (najlepszą) stanowi jedynie województwo mazowieckie. Druga kategoria obejmuje województwa: dolnośląskie, małopolskie i pomorskie. W trzeciej kategorii znalazły się województwa: łódzkie, zachodniopomorskie, śląskie, wielkopolskie, opolskie, kujawsko-pomorskie, lubuskie. W czwartej kategorii (najslabiej rozwiniętej) są województwa: warmińsko-mazurskie, świętokrzyskie, lubelskie, podkarpackie, podlaskie. Przedstawiono to wykresie 7.



Wykres 7. Wyniki hierarchicznego grupowania województw z wyodrębnieniem skupień

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.

Z wykorzystaniem metody k -średnich dokonano optymalizacji podziału klasyfikacyjnego województw. Przyjęto cztery klasy obiektów. Klasyfikacja jest identyczna jak w przypadku metody aglomeracyjnej. Ostateczne wyniki klasyfikacji przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Klasyfikacja województw według metody k -średnich.

Źródło: Opracowanie własne w programie R oraz <https://pl.depositphotos.com/vector-images/polska-wojew%C3%B3dztwa.html>.

Następnie obliczono wewnątrzgrupową sumę kwadratów dla różnej liczby skupień. Wyniki przedstawiono na wykresie 8.



Wykres 8. Wartości wewnątrzgrupowej sumy kwadratów wg liczby skupień.

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem programu R.

Z wykresu wynika, że przyjęta liczba grup jest wystarczająca. Wewnątrzgrupowa suma kwadratów została zmniejszona w znaczący sposób. Dalsze zwiększanie liczby skupień nie przynosi już tak znaczących redukcji wewnątrzgrupowych zróżnicowań.

Podsumowanie

Wykorzystanie szerokopasmowego dostępu do internetu w polskich przedsiębiorstwach jest już bardzo popularne, o czym świadczy najwyższa wartość średniej spośród obliczonych średnich wartości wszystkich uwzględnionych wskaźników struktury (X_4 - Przedsiębiorstwa posiadające szerokopasmowy dostęp do Internetu, średni odsetek wynosił 98,4875%). Natomiast średnia wartość wskaźnika przedsiębiorstw, które ponosiły nakłady na leasing finansowy urządzeń ICT znajduje się na najniższym poziomie (średnia wartość dla zmiennej X_{23} wynosi 1,3813%). Niski poziom wskaźnika struktury odnotowano również w przypadku przedsiębiorstw wykorzystujących technologie sztucznej inteligencji (średnia wartość dla zmiennej X_{15} wynosi 2,3375%). Ponadto wyniki analizy wskazują na zróżnicowanie poziomu rozwoju badanego zjawiska pomiędzy województwami wschodnimi i zachodnimi.

Uzyskane wyniki można traktować jako wsparcie dla polityki władz centralnych i lokalnych. Stwierdzone zróżnicowanie poziomu wykorzystania ICT w Polsce spowodowane jest pewnymi trudnościami w zakresie finansowania rozwoju ICT. Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość zwiększenia efektywności partnerstwa publiczno-prywatnego poprzez zmniejszenie rozbieżności w ustanawianiu projektów priorytetowych przez administrację publiczną i podmioty prywatne. Należy również skoncentrować się na zwiększeniu efektywności rozwiązań związanych z: obszarem formalno-prawnym, zachętami dla inwestorów oraz zarządzaniem funduszami na poziomie lokalnym. Wyniki badań pozwalają zidentyfikować województwa, które powinny szczególnie poprawić poziom korzystania z ICT przez przedsiębiorstwa i zmniejszyć dystans do wiodących województw w tym zakresie. Będzie to służyć rozwojowi tych województw pod względem aktywności gospodarczej, a w konsekwencji przyczyni się do wzrostu społeczno-gospodarczego. Waga analizowanego problemu wydaje się być bardzo istotna, ponieważ ICT przyczyniają się do osiągnięcia przewag konkurencyjnych.

Literatura

- Everitt, B., Landau, S., Leese, M., Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis*. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd.
- Gonciarski, W. (2009). Nowoczesne koncepcje i metody zarządzania stosowane w przedsiębiorstwach postindustrialnych, w: Piotrowski, K., Świątkowski, M. (red.), *Zarządzanie w gospodarce postindustrialnej*. Warszawa: Almamery Wyższa Szkoła Ekonomiczna, pp. 25-41.
- GUS. (2022a). Wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w przedsiębiorstwach w 2022 roku, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleszenstwo-informacyjne/spoleszenstwo-informacyjne/wykorzystanie-technologii-informacyjno-komunikacyjnych-w-jednostkach-administracji-publicznej-przedsiębiorstwach-i-gospodarstwach-domowych-w-2022-roku,3,21.html>
- GUS. (2022b). *Społeczeństwo informacyjne w Polsce w 2022 r.*, Warszawa, Szczecin.
- GUS. (2021a). Wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w przedsiębiorstwach w 2021 roku, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleszenstwo-informacyjne/spoleszenstwo-informacyjne/wykorzystanie-technologii-informacyjno-komunikacyjnych-w-jednostkach-administracji-publicznej-przedsiębiorstwach-i-gospodarstwach-domowych-w-2021-roku,3,20.html>
- GUS. (2021b). *Społeczeństwo informacyjne w Polsce w 2021 r.*, Warszawa, Szczecin.
- Kopczewska, K., Kopczewski, T., Wójcik, P. (2016). *Metody ilościowe w R. Aplikacje ekonomiczne i finansowe*. Warszawa: CeDeWu Sp. z o.o.
- McQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Computer and Chemistry*, 4, 257-272.
- Milligan, G. (1996). *Clustering Validation: Results and Implications for Applied Analyses*, w: Arabie, P, Hubert, L., de Soete, G. (red.), *Clustering and Classification*. Singapore: World Scientific, pp. 341-375.
- Panek, T., Zwierzchowski, J. (2013). *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Teoria i zastosowania*. Warszawa: Szkoła Główna Handlowa.
- Pasza, E. (2010). Internet w działalności informacyjnej i komunikacyjnej przedsiębiorstw, w: Borowiecki, R., Czekał, J. (red.), *Zarządzanie zasobami informacyjnymi w warunkach nowej gospodarki*. Warszawa: Difin, pp. 362-369.
- Sebestyen, G. S. (1962). *Decision-Making Processes in Pattern Recognition*. New York: Macmillan.
- Walesiak, M. (2004a). Metody porządkowania liniowego, w: Walesiak, M., Gatnar E. (red.), *Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych*. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, pp. 351-368.
- Walesiak, M. (2004b). Metody klasyfikacji, w: Walesiak, M., Gatnar E. (red.), *Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych*. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, pp. 316-350.

www1. <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/o-tym-jak-technologie-ict-zmieniaja-przemysl-w-przemysl-4-0/> (16-01-2023)

www2. <https://www.sap.com/poland/insights/what-is-industry-4-0.html> (16-01-2023)

www3. <https://www.astor.com.pl/biznes-i-produkcja/jak-polaczenie-it-i-ot-napedza-przemysl-4-0> (16-01-2023)

Załączniki

Załącznik 1. Kody województw

PL-02	dolnośląskie
PL-04	kujawsko-pomorskie
PL-06	lubelskie
PL-08	lubuskie
PL-10	łódzkie
PL-12	małopolskie
PL-14	mazowieckie
PL-16	opolskie
PL-18	podkarpackie
PL-20	podlaskie
PL-22	pomorskie
PL-24	śląskie
PL-26	świętokrzyskie
PL-28	warmińsko-mazurskie
PL-30	wielkopolskie
PL-32	zachodniopomorskie

Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:code:3166:PL>.

Załącznik 2. Odległości pomiędzy województwami wg miary Minkowskiego

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	10.04														
3	14.15	10.75													
4	13.93	6.25	9.51												
5	9.43	10.96	15.82	11.95											
6	11.33	15.03	21.08	18.98	12.00										
7	21.62	26.64	29.96	31.11	23.33	14.77									
8	14.00	8.07	11.93	7.40	14.07	17.87	30.54								
9	15.41	9.19	6.62	6.91	12.28	18.50	30.01	9.43							
10	16.91	9.64	8.47	8.15	12.20	16.87	28.41	9.18	5.58						
11	7.40	10.81	13.78	16.13	12.13	13.44	18.16	16.25	15.23	16.29					
12	6.70	7.36	12.03	8.65	8.09	11.98	23.82	9.28	11.05	11.61	9.00				
13	17.83	15.40	8.90	13.42	15.65	23.42	32.62	15.34	7.96	9.81	18.15	15.15			
14	18.88	11.11	10.48	8.96	14.47	23.58	35.12	12.62	9.92	9.26	20.16	14.33	14.13		
15	8.21	6.80	8.76	7.13	11.10	15.45	27.32	6.75	8.83	10.04	12.02	5.76	12.88	11.91	
16	15.31	8.87	11.73	7.49	8.81	16.64	27.35	10.31	7.81	7.81	15.30	9.27	11.46	10.74	9.12

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu R.

Kolejność województw jak w załączniku 1.