

Magdalena TUTAK
Politechnika Śląska
magdalena.tutak@polsl.pl

ZASTOSOWANIE METOD TAKSONOMICZNYCH DO ANALIZY ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZEZ POSZCZEGÓLNE WOJEWÓDZTWA

Streszczenie. Najważniejszym czynnikiem wpływającym z jednej strony na rozwój gospodarczy i dobrobyt społeczeństwa, a z drugiej na łagodzenie skutków jego ubóstwa jest energia elektryczna i jej dostępność. Rozwijająca się gospodarka kraju generuje coraz większe zapotrzebowanie na energię. Poszczególne województwa Polski charakteryzują się różnym stopniem wykorzystania energii elektrycznej w podstawowych sektorach ekonomicznych. Wykorzystanie energii elektrycznej uzależnione jest od wielu czynników, m.in. od stopnia uprzemysłowienia regionu, lokalizacji elektrowni, a także od liczby ludności i gospodarstw domowych.

W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej zużycia energii elektrycznej w poszczególnych województwach Polski z uwzględnieniem sektorów ekonomicznych. Do uzyskania klasyfikacji województw w zakresie wykorzystania energii elektrycznej w sektorach ekonomicznych wykorzystano metodę analizy wielowymiarowej, która przyporządkowuje województwa do odpowiednich grup (skupień) o zbliżonej ilości zużycia energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: energia elektryczna, sektory ekonomiczne, metoda k-średnich, grupowanie

THE USE OF TAXONOMIC METHODS FOR ANALYSING ELECTRICITY CONSUMPTION BY THE INDIVIDUAL PROVINCES

Abstract. The most crucial factor influencing economic development and social well-being, as well as resulting in the mitigation of the effects of social poverty is electricity and its availability. The country's growing economy generates an increasingly higher demand for energy. The individual Provinces of Poland have a different degree of electricity use in the basic economic sectors. The use of electricity is dependent on a number of factors, such as a given region's degree of industrialisation, the locations of power plants, as well as the population and household numbers.

The article presents the results of a comparative analysis of electricity consumption in the individual Provinces of Poland, with account being taken of the main economic sectors. The classification of the Provinces in terms of electricity use in economic sectors was performed by means of a multi-dimensional analysis method, which assigns the Provinces to appropriate groups (clusters) having similar quantities of electricity consumed.

Keywords: electricity, economic sectors, k-means method, grouping

1. Wprowadzenie

Najważniejszym czynnikiem wpływającym z jednej strony na rozwój gospodarczy i dobrobyt społeczeństwa, a z drugiej na łagodzenie skutków jego ubóstwa jest energia elektryczna i jej dostępność. Mieszkańcy oczekują, że dostęp do energii elektrycznej będzie spełniał ich podstawowe potrzeby niezbędne do życia. Należy ją zatem traktować jako produkt strategiczny kraju, w którym występuje silna korelacja pomiędzy wielkością posiadanych zasobów energii a rozwojem gospodarczym, np. województw¹.

Rozwijające się gospodarki krajów generują coraz większe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Dotyczy to także Polski, w której zużycie energii elektrycznej w ostatnich latach w każdym z sektorów ekonomicznych nabiera coraz większego znaczenia.

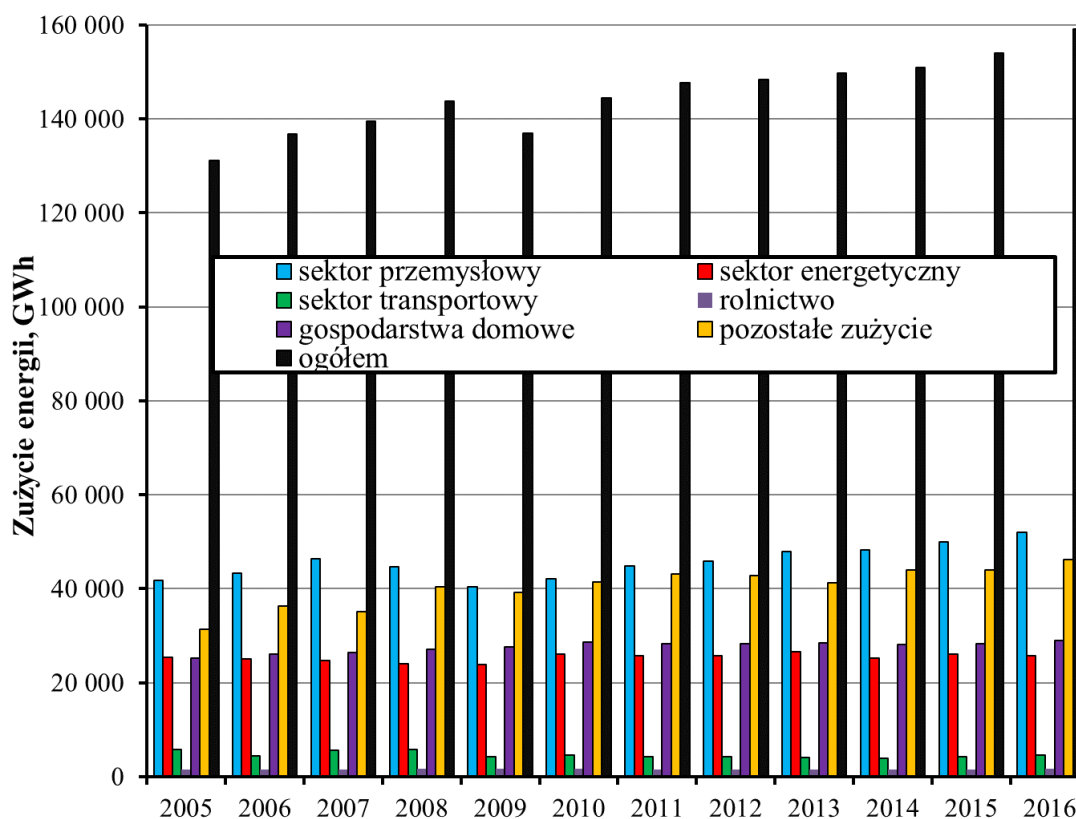
Do najważniejszych sektorów ekonomicznych w Polsce zalicza się:

- sektor przemysłowy,
- sektor energetyczny,
- sektor transportowy,
- rolnictwo,
- gospodarstwa domowe.

Na rysunku 1 zostało przedstawione zużycie energii elektrycznej w Polsce w poszczególnych sektorach ekonomicznych, w latach 2005-2016.

Można zauważyć, że utrzymywana jest umiarkowana tendencja wzrostowa dotycząca ogólnego wykorzystania energii elektrycznej w Polsce. Jedynie w latach 2008-2009 zauważalny jest chwilowy trend spadkowy wynikający z koniunktury gospodarczej w tym okresie.

¹ Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., von Stechow C.: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, H. Ritchie and M. Roser Energy Production & Changing Energy Sources, 2011; Tutak M., Brodny J.: Degree of use of alternative sources for energy production for the economical aims in EU countries. SGEM 2017, p. 635-642, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S29.080.



Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej w Polsce w latach 2005-2016

Analizując zużycie energii elektrycznej w sektorach ekonomicznych w latach 2005-2016, można wyróżnić trzy grupy, w których ilość wykorzystanej energii elektrycznej:

- wzrosła (sektor przemysłowy, gospodarstwa domowe i pozostałe sektory),
- spadła (sektor transportowy),
- pozostała na stabilnym poziomie (sektor energetyczny, rolnictwo).

Poszczególne województwa Polski charakteryzują się różnym stopniem wykorzystania energii elektrycznej w podstawowych sektorach ekonomicznych. Wykorzystanie energii elektrycznej uzależnione jest od wielu czynników, m.in. od stopnia uprzemysłowienia regionu, lokalizacji elektrowni, a tym samym miejsca produkcji energii, a także od liczby ludności i gospodarstw domowych². Czynniki te determinują zapotrzebowanie na energię elektryczną i jej finalną konsumpcję.

W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej zużycia energii elektrycznej w poszczególnych województwach Polski z uwzględnieniem sektorów ekonomicznych. Analiza przedstawia stan za 2016 rok w zakresie zużycia energii elektrycznej. Istotny jest fakt, że województwa w Polsce są mocno zróżnicowane pod względem rozwinięcia poszczególnych sektorów ekonomicznych, co przekłada się na wykorzystanie w nich energii elektrycznej.

² Kott M.: Zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych dla wybranych krajów UE. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 42, s. 162-166.

Do uzyskania klasyfikacji województw w zakresie wykorzystania energii elektrycznej w sektorach ekonomicznych wykorzystano metodę analizy wielowymiarowej, która przyporządkowuje województwa do odpowiednich grup (skupień) o zbliżonej ilości zużycia energii elektrycznej.

2. Dane i wskaźniki

W celu przeprowadzenia analizy zużycia energii elektrycznej przez poszczególne województwa zostały wykorzystane dane pochodzące z Banku danych lokalnych³. Analizę klasyfikacyjną przeprowadzono dla 16 województw.

Dysponując zbiorem danych przedstawionych w tabeli 1, do badań zostało wykorzystanych 6 wskaźników określających zużycie energii elektrycznej w:

- sektorze przemysłowym,
- sektorze energetycznym,
- sektorze transportowym,
- gospodarstwach domowych,
- rolnictwie,
- innych sektorach (pozostałe zużycie).

Wskaźniki te zostały poddane wstępnej obróbce statystycznej, obliczono także współczynnik zmienności oraz współczynnik korelacji.

Tabela 1

Kształtowanie się zużycia energii elektrycznej w poszczególnych województwach

Województwo	Zużycie energii wg sektorów ekonomicznych, GWh					
	przemysłowy	energetyczny	transportowy	gospodarstwa domowe	rolnictwo	pozostałe zużycie
dolnośląskie	3 502	3 581	268	2 170	101	3 956
kujawsko-pomorskie	3 945	203	205	1 510	88	2 309
lubelskie	2 523	422	121	1 402	70	1 483
lubuskie	1 708	233	100	748	57	1 068
łódzkie	2 157	4 700	500	1 928	105	2 934
małopolskie	4 359	1 025	312	2 661	111	4 539
mazowieckie	8 673	3 159	1 110	4 734	262	8 135
opolskie	2 126	703	108	785	60	1 404
podkarpackie	2 019	262	68	1 203	50	1 862
podlaskie	841	80	109	886	51	994
pomorskie	2 880	817	407	1 749	101	2 464
śląskie	8 080	6 997	305	3 499	141	7 070
świętokrzyskie	2 062	1 045	121	752	33	1 106

³ Bank danych lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>.

cd. tabeli 1

warmińsko-mazurskie	1 077	77	95	1 011	90	1 529
wielkopolskie	4 010	1 732	503	2 676	251	3 418
zachodniopomorskie	2 083	666	226	1 195	62	2 020
Średnia	3 253	1 606	285	1 807	102	2 893
Odchylenie standardowe	2 242,12	1 994,43	262,56	1 120,03	66,45	2 122,71
Współczynnik zmienności, %	68,93	124,16	92,17	61,99	65,11	73,37

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiony w tabeli 1 zbiór charakteryzuje się dużą rozpiętością współczynnika zmienności – od 61,99% do 124,16%. Największą jego wartość mają zmienne zużycia energii w sektorze energetycznym oraz sektorze transportowym. Zmienne przedstawione w tabeli 1 spełniają warunek cech diagnostycznych, które muszą odznaczać się znacznym zróżnicowaniem.

Wstępna analiza statystyczna objęła swoim zakresem obliczenie współczynnika korelacji i budowę jego macierzy. Analiza współczynnika korelacji wykazała, że zmienne charakteryzują się różnym stopniem skorelowania (tabela 2).

Tabela 2

Macierz korelacji

	sektor przemysłowy	sektor energetyczny	sektor transportowy	gospodarstwa domowe	rolnictwo	pozostałe zużycie
sektor przemysłowy	1	0,667213	0,724464	0,933481	0,737348	0,956217
sektor energetyczny	0,667213	1	0,465273	0,665294	0,442663	0,737985
sektor transportowy	0,724464	0,465273	1	0,860192	0,85741	0,783043
gospodarstwa domowe	0,933481	0,665294	0,860192	1	0,863898	0,974819
rolnictwo	0,737348	0,442663	0,85741	0,863898	1	0,764328
pozostałe zużycie	0,956217	0,737985	0,783043	0,974819	0,764328	1

Źródło: Opracowanie własne.

Standaryzację (przekształcenie, transformację) danych przedstawionych w tabeli 1 przeprowadzono zgodnie z zależnością (1)⁴:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S(x)}, \quad (1)$$

gdzie:

 \bar{x} – średnia, $S(x)$ – odchylenie standardowe zmiennych.

⁴ Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988; Ostasiewicz W. (red.): op.cit.; Stanisz A: op.cit.

Zmienna po standaryzacji ma rozkład normalny $Z \sim N(0, 1)$, czyli o średniej wartości równej zero i odchyleniu standardowym równym jeden⁵. Celem procesu standaryzacji danych było wyrażenie zmiennych w tej samej skali. Wyniki standaryzacji przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Dane standaryzowane – zużycie energii elektrycznej w poszczególnych województwach w 2016 roku

Województwo	Zużycie energii wg sektorów ekonomicznych, GWh					
	przemysłowy	energetyczny	transportowy	gospodarstwa domowe	rolnictwo	pozostałe zużycie
dolnośląskie	0,11114	0,99007	-0,06427	0,32427	-0,01599	0,50069
kujawsko-pomorskie	0,30872	-0,70365	-0,30422	-0,26500	-0,21163	-0,27521
lubelskie	-0,32550	-0,59384	-0,62414	-0,36143	-0,48251	-0,66433
lubuskie	-0,68900	-0,68861	-0,70412	-0,94535	-0,67815	-0,85984
łódzkie	-0,48874	1,55113	0,81934	0,10820	0,04421	0,01923
małopolskie	0,49337	-0,29150	0,10331	0,76265	0,13450	0,77533
mazowieckie	2,41744	0,77848	3,14261	2,61350	2,40690	2,46939
opolskie	-0,50256	-0,45295	-0,67366	-0,91231	-0,63300	-0,70155
podkarpackie	-0,55029	-0,67407	-0,82600	-0,53911	-0,78349	-0,48579
podlaskie	-1,07568	-0,76532	-0,66985	-0,82213	-0,76844	-0,89470
pomorskie	-0,16628	-0,39579	0,46513	-0,05162	-0,01599	-0,20219
śląskie	2,15295	2,70284	0,07665	1,51085	0,58597	1,96768
świętokrzyskie	-0,53111	-0,28147	-0,62414	-0,94177	-1,03932	-0,84194
warmińsko-mazurskie	-0,97043	-0,76682	-0,72317	-0,71053	-0,18153	-0,64266
wielkopolskie	0,33771	0,06299	0,83076	0,77604	2,24137	0,24724
zachodnio-pomorskie	-0,52174	-0,47150	-0,22423	-0,54625	-0,60290	-0,41135

Źródło: Opracowanie własne.

3. Charakterystyka metody badawczej

Najbardziej popularnym niehierarchicznym algorytmem analizy skupień jest metoda algorytmu k -średnich. Przyporządkowanie n obiektów do zadanej liczby skupień K odbywa się niezależnie dla każdej wartości K , nie bazując na wyznaczonych wcześniej mniejszych lub większych skupieniach. Główną ideą tego algorytmu jest taka alokacja obiektów, która zminimalizuje zmienność wewnątrz powstałych skupień, a co za tym idzie zmaksymalizuje zmienność pomiędzy skupieniami, inaczej mówiąc jest to metoda polegającej na szukaniu i wyodrębnianiu grup obiektów podobnych (skupień). Podobieństwo w skupieniu powinno być jak największe, zaś osobne skupienia powinny się maksymalnie od siebie różnić⁶.

⁵ Ibidem.

⁶ Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988; Ostasiewicz W. (red.): op.cit.; Stanisz A: op.cit.

Zazwyczaj w wyniku analizy grupowania metodą k -średnich badane są średnie dla każdego skupienia w każdym wymiarze, tak aby oszacować, na ile skupienia K są od siebie różne.

Algorytm k -średnich stara się znaleźć ekstremum funkcji celu, która zdefiniowana jest zależnością:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{d_i \in D_i} sim(c_i, d_i). \quad (2)$$

Algorytm postępowania badawczego składa się z następujących etapów⁷:

1. Standaryzacja danych przyjętych do obliczeń, mająca na celu uzyskanie zmiennych o wariancji równej 1 i średniej równej 0:

$$U = \frac{x_i - \bar{x}}{S(x)}, \quad (3)$$

gdzie:

\bar{x} – średnia,

$S(x)$ – odchylenie standardowe zmiennych z badań.

2. Określenie *a priori* liczby skupień (klastrow).
3. Przyporządkowanie próbek pomiarowych do poszczególnych klastrow na podstawie wyznaczonych odległości euklidesowych d_{ij} poszczególnych próbek P_i od środków klastrow m_i . Odległość euklidesowa wyznaczana jest z zależności:

$$d_{ij} = \|x_j - m_i\| = \sqrt{\sum_{l=1}^k (x_{lj} - m_{xlj})^2}. \quad (4)$$

4. Określenie nowych środków klastrow metodą skumulowaną ze wzoru:

$$m_{x,l,i}(I) = \frac{I}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}(0). \quad (5)$$

5. Określenie przesunięcia klastrow Δm :

$$\Delta m = \|m_i(0) - m_i(I)\|. \quad (6)$$

6. Przyporządkowanie próbek pomiarowych do nowych klastrow.
7. Określenie nowych środków klastrow.

⁷ Błuszczyk A.: op.cit.; Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988; Ostasiewicz W. (red.): op.cit.; Stanisław A.: op.cit.

4. Wyniki analizy

Analiza porównawcza zużycia energii elektrycznej w poszczególnych sektorach ekonomicznych województw została przeprowadzona metodą k -średnich. Metoda ta wymaga założenia *a priori* liczby skupień, w które pogrupowane zostaną obiekty (województwa).

W analizowanym przypadku założono, że liczba skupień wyniesie 4.

W tabeli 4 zostały przedstawione województwa wchodzące w skład poszczególnych klastrów, a w tabeli 5 zaprezentowano analizę wariancji i statystyk opisowych.

Tabela 4

Odległości skupień od środków klastrów

		Województwo	Dystans od środka skupienia
Elementy skupienia	1	dolnośląskie	0,4173013
		łódzkie	0,4877313
		wielkopolskie	0,7310664
	2	mazowieckie	0,864981
		śląskie	0,864981
	3	kujawsko-pomorskie	0,306831
		małopolskie	0,402170
	4	pomorskie	0,264911
		lubelskie	0,208298
		lubuskie	0,127504
		opolskie	0,112900
		podkarpackie	0,156504
		podlaskie	0,218214
świętokrzyskie		0,235571	
warmińsko-mazurskie	0,246260		
zachodniopomorskie	0,225689		

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5

Statystyka opisowa skupień na podstawie znormalizowanych danych

Skupienie	Średnie	Odchylenie standardowe	Wariancja
Skupienie 1			
Sektor przemysłowy, GWh	-0,01329655	0,4270452	0,1823676
Sektor energetyczny, GWh	0,8680647	0,751538	0,5648094
Sektor transportowy, GWh	0,528609	0,5134809	0,2636626
Gospodarstwa domowe, GWh	0,4028365	0,3407828	0,1161329
Rolnictwo, GWh	0,7565275	1,28626	1,654464
Pozostałe zużycie, GWh	0,2557165	0,2408418	0,05800477
Skupienie 2			
Sektor przemysłowy, GWh	2,285195	0,187017	0,034975
Sektor energetyczny, GWh	1,740663	1,360730	1,851585
Sektor transportowy, GWh	1,609631	2,167964	4,700067
Gospodarstwa domowe, GWh	2,062172	0,779693	0,607921
Rolnictwo, GWh	1,496438	1,287594	1,657899
Pozostałe zużycie, GWh	2,218536	0,354767	0,125860

cd. tabeli 5

Skupienie 3			
Sektor przemysłowy, GWh	0,211936	0,340305	0,115807
Sektor energetyczny, GWh	-0,463646	0,214289	0,045920
Sektor transportowy, GWh	0,088075	0,384900	0,148148
Gospodarstwa domowe, GWh	0,148676	0,542316	0,294106
Rolnictwo, GWh	-0,031039	0,173554	0,030121
Pozostałe zużycie, GWh	0,099313	0,586590	0,344087
Skupienie 4			
Sektor przemysłowy, GWh	-0,645789	0,254340	0,064689
Sektor energetyczny, GWh	-0,586823	0,171857	0,029535
Sektor transportowy, GWh	-0,633664	0,177560	0,031527
Gospodarstwa domowe, GWh	-0,722360	0,220035	0,048416
Rolnictwo, GWh	-0,646168	0,249033	0,062017
Pozostałe zużycie, GWh	-0,687770	0,175731	0,030881

Źródło: Opracowanie własne.

W tabeli 6 przedstawiono informacje na temat odległości euklidesowej (odległości geometrycznej w przestrzeni wielowymiarowej) pomiędzy centrami skupień.

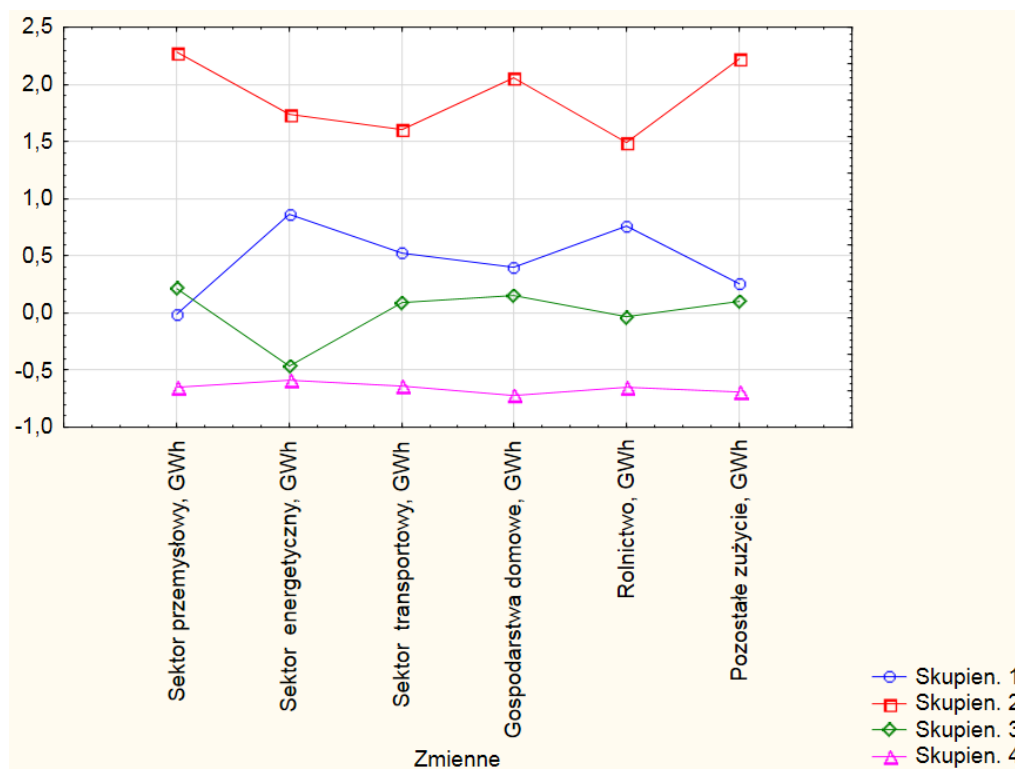
Tabela 6

Odległości euklidesowe (nad przekątną) i kwadrat odległości (nad przekątną)

Numer skupienia	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4
Nr 1	0,000000	2,394437	0,454596	1,331902
Nr 2	1,547397	0,000000	3,659712	6,638537
Nr 3	0,674237	1,913037	0,000000	0,504727
Nr 4	1,154081	2,576536	0,710441	0,000000

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie wyników analizy przedstawionych w tabeli 6 oraz rysunku 2 można stwierdzić, że w klastrze numer 2 zużycie energii elektrycznej we wszystkich analizowanych sektorach ekonomicznych jest największe. W skład tego skupienia weszły województwo śląskie oraz województwo mazowieckie. Odległość od środka skupienia nr 2 tych województw jest taka sama i wynosi 0,864981. Z kolei najmniejsze użycie energii elektrycznej w analizowanych sektorach występuje natomiast w województwach przyporządkowanych do skupienia nr 4. Skupienie to tworzą województwa: lubelskie, lubuskie, opolskie, podkarpackie, podlaskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie i zachodniopomorskie.



Rys. 2. Wykres średnich wartości zmiennych diagnostycznych zużycia energii w poszczególnych sektorach ekonomicznych w 2016 roku

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7

Średnie wartości zużycia energii elektrycznej w poszczególnych województwach w 2016 roku, z uwzględnieniem sektora ekonomicznego

	Klaster 1	Klaster 2	Klaster 3	Klaster 4
Sektor przemysłowy, GWh	3223	8376,5	3 728	1 805
Sektor energetyczny, GWh	3337,7	5078	682	436
Sektor transportowy, GWh	423,7	707,5	308	119
Gospodarstwa domowe, GWh	2258	4116,5	1973	998
Rolnictwo, GWh	152,3	201,5	100	59
Pozostałe zużycie, GWh	3436	7602,5	3104	1 433
RAZEM	12830,7	26082,5	9895	4850

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 7 można stwierdzić, że największe średnie zużycie energii elektrycznej we wszystkich analizowanych sektorach ekonomicznych występuje w województwach śląskim i mazowieckim, które wchodzi w skład skupienia nr 2. Sumaryczne średnie zużycie energii we wszystkich sektorach tego skupienia jest ponad dwa razy większe niż w województwach wchodzących w skład skupienia nr 1. Jednak nie jest to największa różnica dotycząca zużycia energii w województwach tworzących poszczególne klastry. Największa różnica w zużyciu energii występuje pomiędzy skupieniem nr 2 a skupieniem nr 4. W województwach tworzących skupienie nr 4 (lubelskie, lubuskie, opolskie, podkarpackie, podlaskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie i zachodnio-

pomorskie) średnie wykorzystanie energii jest ponadpięciokrotnie mniejsze niż w województwach śląskim i mazowieckim.

Tak znaczące różnice dotyczące wykorzystania energii związane są ściśle z poziomem rozwinięcia województw, bowiem są one silnie regionalnie zróżnicowane.

4. Wnioski

Jednym z głównych czynników warunkujących rozwój gospodarczy i społeczny poszczególnych województw jest energia elektryczna i jej dostępność. Energia jest jednym z najbardziej pożądanych zasobów ludzkości. Rozwijająca się gospodarka generuje coraz większe zapotrzebowanie na energię.

W 2016 roku w Polsce we wszystkich sektorach zużyte zostało 159 138 GWh energii elektrycznej. Zużycie tej energii w poszczególnych województwach Polski kształtowało się na różnym poziomie. Największe jej zasoby zostały wykorzystane w województwach śląskim i mazowieckim, a najmniejsze – w województwach podlaskim i lubuskim.

Ilość energii elektrycznej wykorzystywana w danym województwie świadczy w dużej mierze o poziomie jego cywilizacyjnego rozwoju, jednak zależna jest także od liczby ludności zamieszkującej to województwo i gospodarstw domowych.

W artykule skoncentrowano się na analizie wykorzystania energii elektrycznej w głównych sektorach ekonomicznych województw.

Do badań wykorzystano niehierarchiczną metodę taksonomiczną umożliwiającą grupowanie województw pod względem podobieństwa kryterialnego. Jako kryterium przyjęto wykorzystanie energii w wybranych sektorach ekonomicznych Polski.

Uzyskane wyniki w postaci grup (skupień) województw pozwalają na stwierdzenie, że średnie wykorzystanie energii w poszczególnych skupieniach (tworzonych przez województwa) jest mocno zróżnicowane. Przyczyny tego są różne i wynikają z uwarunkowań ekonomicznych, uprzemysłowienia regionu, a także liczby ludności.

Uzyskane wyniki jednoznacznie identyfikują i grupują województwa Polski w zależności od stopnia wykorzystania energii elektrycznej w sektorach ekonomicznych. Stwarza to możliwość obiektywnej oceny wykorzystania tej energii.

Bibliografia

1. Bluszcz A.: European economies in terms of energy dependence. "Qual. Quant.", Vol. 51, No. 4, 2017.
2. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., von Stechow C.: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press. H. Ritchie and M. Roser Energy Production & Changing Energy Sources, 2011.
3. Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988.
4. Kott M.: Zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych dla wybranych krajów UE. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 42.
5. Ostasiewicz W. (red.): Statystyczne metody analizy danych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1999.
6. Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica Pl na przykładach medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft Polska, Kraków 2007.
7. Tutak M., Brodny J.: Degree of use of alternative sources for energy production for the economical aims in EU countries. SGEM 2017, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S29.080.
8. Bank danych lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>.