

Karol Kukuła¹

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Porównania międzyrankingowe państw UE ze względu na wybrane elementy biogospodarki w 2012 roku

Comparisons between ranking arrangements within the EU countries with respect to chosen elements of bio-economy in 2012

Synopsis. Wielkość emisji gazów cieplarnianych do atmosfery jest powiązana z produkcją energii odnawialnej. Na świecie obserwuje się rosnącą świadomość szkodliwego wpływu gazów cieplarnianych na środowisko naturalne. Jednym z czynników mogących ograniczyć ową emisję jest wciąż wzrastająca produkcja energii odnawialnej. W badaniach państw UE-26 wykorzystano dane pochodzące z 2012 roku. Zbudowano rankingi państw UE-26 ze względu na trzy cechy:

- wielkość emisji gazów cieplarnianych,
- przeciętne tempo zmian emisji gazów cieplarnianych,
- wielkość produkcji energii odnawialnej.

Wykorzystując miernik m_{pq} porównano rankingi ze sobą.

Porównania międzyrankingowe tylko częściowo potwierdzają wysuniętą hipotezę o zgodności układów porządkowych: emisja gazów cieplarnianych - produkcja energii odnawialnej w państwach UE.

Słowa kluczowe: biogospodarka, energia odnawialna, ranking, gazy cieplarniane, porównanie

Abstract. The level of greenhouse gas emissions into the atmosphere is connected with the production of renewable energy. The world seems to be more and more aware of the harmful influence of greenhouse gas on the environment. One of the factors that can cut down the emission is increasing the production of renewable energy. The research of 26 countries of the EU was based on data from 2012. The ranking arrangements of the EU-26 were constructed with respect to three features:

- the level of greenhouse gas emission;
- the average rate of changes in the emission of greenhouse gas;
- the level of production of renewable energy.

The m_{pq} measure was used to make the comparisons between ranking arrangements. The results only partially confirm the hypothesis of the conformance of the relationship between greenhouse gas emission and renewable energy production in the EU countries.

Key words: bio-economy, renewable energy, ranking greenhouse gas, comparison

Wprowadzenie

Biogospodarka to taka dziedzina ludzkiej działalności, w której zasoby przyrodnicze wykorzystywane są w sposób racjonalny, służący dobru człowieka i jego otoczenia [Kukuła 2015]. W artykule przedstawiono dwa elementy związane z biogospodarką w UE, tj. emisja

¹ prof. zw. dr hab., e-mail: ksm@ur.krakow.pl

gazów cieplarnianych oraz pozyskiwanie energii odnawialnej. Owe dwa elementy są ściśle powiązane z biogospodarką jako całością oraz pozostają w pewnych relacjach między sobą.

Gazy, których obecność w atmosferze wpływa na ocieplanie klimatu to przede wszystkim: dwutlenek węgla, para wodna, metan, tlenek azotu oraz freony. Rozważając sytuację UE, jako głównego producenta gazów cieplarnianych w naszym regionie, musimy mieć świadomość, że pod wpływem działalności przemysłowej a więc licznymi kopalniami, elektrowniami na paliwa kopalne oraz olbrzymią liczbą samochodów osobowych i ciężarowych, ulega zmianie skład atmosfery a tym samym w stopniu istotnym pogarszają się jej własności.

Celem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych należy zmienić technologię związaną z wytwarzaniem energii. Chodzi mianowicie o ograniczenie udziału surowców kopalnych w produkcji oraz powolne ich zastępowanie energią pochodzącą z źródeł odnawialnych. Technologie te stosuje się wykorzystując energię: spadku wód, wiejących wiatrów, świecącego słońca, spalania biomasy i biogazów a także zasobów geotermalnych. Warto podkreślić, że rokrocznie odprowadza się na świecie około 3% więcej dwutlenku węgla niż rok wcześniej. Dwutlenek węgla stanowi jeden z głównych składników gazów cieplarnianych. Słusznym wydaje się podjęcie działań spowalniających ten proces.

Głównym celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na procesy zachodzące w wielkościach dotyczących emisji gazów cieplarnianych a tym samym tempa jej zmian w państwach UE-26. Ze względu na brak porównywalnych danych czasowych pominięto dwa państwa: Cypr i Maltę. Z problemem emisji gazów cieplarnianych wiąże się bezpośrednio produkcja energii odnawialnej. Stąd wyłania się kolejny cel pracy, są nim porównania między rankingami państw UE w zakresie dwóch wymienionych kategorii (emisja gazów cieplarnianych - pozyskiwanie energii odnawialnej). Stawiamy hipotezę, że rankingi te winny wykazywać znaczny stopień podobieństwa. Wielcy emitenci gazów cieplarnianych są bowiem zobowiązani do istotnych ograniczeń swej emisji, co można realizować poprzez rozwój produkcji energii odnawialnej. Pozyskiwanie energii odnawialnej należy potraktować jako swoiste antidotum na postępujący proces ocieplania się klimatu naszego globu.

Emisja gazów cieplarnianych oraz przeciętne tempo jej zmian w latach (2000-2012)

Wiele uprzemysłowionych krajów UE produkuje energię posługując się tradycyjnymi technologiami z wykorzystywaniem surowców kopalnych. Kraje te są znaczącymi emitentami gazów cieplarnianych. Ranking państw ze względu na wielkość emisji gazów cieplarnianych przedstawia tab. 1. Podział państw UE w rankingu na grupy ze względu na wielkość emisji dokonano metodą przedstawioną w pracy [Kukula 2014]. Czołowym wytwórcą gazów cieplarnianych w UE są Niemcy, których emisja w 2012 roku znacznie przewyższała wyniki pozostałych krajów unijnych i wynosi 964,6 mln ton. Kolejni emitenci gazów cieplarnianych to: Wielka Brytania, Francja, Włochy i Polska. Nasz kraj w tym rankingu zajmuje niestety wysoką piątą pozycję (400,9 mln ton) i wyprzedza takie kraje UE, jak: Hiszpania, Holandia, Czechy, Belgia, Rumunia i pozostałe. Stosunkowo niską emisję gazów cieplarnianych wykazują niewielkie państwa UE, takie jak: Dania, Słowacja, Chorwacja, Litwa, Słowenia, Luksemburg i Łotwa.

Z uwagi na wysoką szkodliwość gazów cieplarnianych w przyrodzie, interesującym wydaje się śledzenie ich zmian. Ze względu na dostępność danych uwzględniono okres 2000-2012. Rozważając zmiany zachodzące w badanym okresie ze względu na emisję gazów cieplarnianych, dostrzega się ich tendencję spadkową w większości państw UE. Przeciętne tempo spadku emisji gazów cieplarnianych kształtuje się różnie w poszczególnych krajach UE. Równocześnie nie można zignorować faktu, iż w niewielu państwach unijnych występują słabe, co prawda, ale tendencje wzrostowe emisji gazów cieplarnianych. Ranking państw UE ze względu na przeciętne tempo zmian emisji gazów cieplarnianych (spadku, stagnacji lub wzrostu) przedstawia tab. 2. Ranking ten porządkuje obiekty w ten sposób, iż czołowe lokaty przypadają państwom o ujemnym przeciętnym tempie zmian (spadku) poprzez stagnację (zerowe tempo wzrostu) aż do krajów o dodatnim przeciętnym tempie wzrostu (końcowe lokaty w rankingu).

Tabela 1. Ranking państw UE ze względu na wielkość emisji gazów cieplarnianych w 2012 roku

Table 1. Ranking arrangement of the EU countries with respect to the level of greenhouse gas emission in 2012

Grupa	Lokata	Państwo	Wielkość emisji w mln ton (x_i)
I (1 państwo)	1	Niemcy	964,6
	2	Wielka Brytania	613,1
II (5 państw)	3	Francja	506,4
	4	Włochy	469,5
	5	Polska	400,9
	6	Hiszpania	354,4
	7	Holandia	201,8
III (20 państw)	8	Czechy	132,4
	9	Belgia	120,6
	10	Rumunia	119,2
	11	Grecja	113,5
	12	Austria	82,2
	13	Portugalia	71,5
	14	Finlandia	62,9
	15	Węgry	62,5
	16	Bułgaria	61,5
	17	Irlandia	60,3
	18	Szwecja	59,8
	19	Norwegia	54,5
	20	Dania	54,2
	21	Słowacja	42,8
	22	Chorwacja	26,7
	23	Litwa	21,8
	24	Słowenia	19,0
	25	Luksemburg	13,0
	26	Łotwa	11,3

$$I(X) = \frac{\max_i x_i}{\min_i x_i} = 85,36$$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji zawartych w „Ochrona środowiska Environment 2014”, GUS Warszawa, 2014.

$I(X)$ to iloraz wartości skrajnych zmiennej, opisującej wielkość emisji gazów cieplarnianych w państwach UE w 2012 roku. Otrzymana wartość ilorazu wielkości skrajnych ilustruje duże zróżnicowanie w zakresie emisji gazów cieplarnianych między państwami zajmującymi skrajne pozycje w rankingu: Niemcy, największy emitent – Łotwa, emitująca najmniej gazów cieplarnianych w UE.

W rankingu prezentowanym w tab. 2 starano się uwypuklić kwestię, które państwa podejmują działania ograniczające emisję gazów cieplarnianych a które nadal prowadzą taką gospodarkę, której efektem jest wzrost emisji. Najwyższe tempo spadku emisji gazów cieplarnianych odnotowano w Danii- ponad 3,5 % w skali rocznej. Wysokie tempo redukcji emisji gazów cieplarnianych (2,5%-3,0%) zaobserwowano w : Belgii, Portugalii i na Węgrzech.

Końcówą – czwartą – grupę rankingu tworzą państwa, które wykazują dodatnie tempo zmian, co oznacza przyrosty emisji gazów cieplarnianych w okresie 2000-2012. Grupę tę otwiera Polska z średniorocznym tempem wzrostu na poziomie około 0,2%. Do grupy tej należą także: Bułgaria, Łotwa, Litwa, Estonia i Luksemburg wykazujący najwyższe przeciętne tempo wzrostu emisji – ok.2,5% rocznie.

Tabela 2. Ranking państw UE ze względu na przeciętne tempo zmian emisji gazów cieplarnianych w latach (2000-2012)

Table 2. The EU countries ranking due to the average rate of changes of greenhouse gas emission within the years (2000-2012)

Grupa	Lokata	Państwo	Przeciętny indeks zmian \bar{I}_x	Przeciętne tempo zmian \bar{I}_x
I (4 państwa)	1	Dania	0,9643	-0,0357
	2	Belgia	0,9725	-0,0275
	3	Portugalia	0,9746	-0,0254
	4	Węgry	0,9752	-0,0248
II (13 państw)	5	Włochy	0,9772	-0,0228
	6	Wielka Brytania	0,9787	-0,0213
	7	Szwecja	0,9788	-0,0212
	8	Irlandia	0,9804	-0,0196
	9	Słowacja	0,9824	-0,0176
	10	Francja	0,9840	-0,0160
	11	Grecja	0,9843	-0,0157
	12	Finlandia	0,9851	-0,0149
	13	Rumunia	0,9863	-0,0137
	14	Holandia	0,9869	-0,0131
	15	Hiszpania	0,9870	-0,0130
	16	Niemcy	0,9876	-0,0124
	17	Czechy	0,9878	-0,0122
III (3 państwa)	18	Chorwacja	0,9985	-0,0015
	19	Austria	0,9988	-0,0012
	20	Słowenia	1,0000	0,0000
IV (6 państw)	21	Polska	1,0018	0,0018
	22	Bułgaria	1,0028	0,0028
	23	Łotwa	1,0093	0,0093
	24	Litwa	1,0120	0,0120
	25	Estonia	1,0148	0,0148
	26	Luksemburg	1,0248	0,0248

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji zawartych w „Ochrona środowiska Environment 2014”, GUS Warszawa, 2014.

Ranking państw UE ze względu na wielkość produkcji energii odnawialnej

Pozyskiwanie energii odnawialnej staje się ważnym źródłem wytwarzania energii elektrycznej. W Polsce w 2012 roku udział energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnych nośników energii w zużyciu energii elektrycznej brutto osiągnął pułap 10,6% wobec 2,8% w 2006 roku. Oznacza to relatywnie szybki wzrost. Wiele krajów UE rozwija procesy związane z wykorzystywaniem nośników energii odnawialnej, powoli eliminując nośniki energii nieodnawialnej.

Ranking państw UE ze względu na wielkość produkcji odnawialnej w 2000 roku przedstawia tab. 3. Samodzielnym liderem produkcji odnawialnej w UE są Niemcy. Ich produkcja w 2012 roku osiągnęła poziom ok. 32,9 mln toe (toe to jednostka umowna oznaczająca tony oleju ekwiwalentnego).

Tabela 3. Ranking państw UE wg wielkości produkcji energii odnawialnej wyrażonej w tys. toe w 2012 r.

Table 3. Ranking arrangement of the EU countries with respect to the level of renewable energy production in 2012 (in thousand of tones)

Grupa	Lokata	Państwo	Wielkość produkcji en. odnawialnej y_i
I (1 państwo)	1	Niemcy	32 912,7
	2	Francja	20 766,0
II (4 państwa)	3	Szwecja	18 509,9
	4	Włochy	18 056,0
	5	Hiszpania	14 487,4
	6	Finlandia	9 930,7
III (21 państw)	7	Austria	9 623,2
	8	Polska	8 478,0
	9	Wielka Brytania	7 095,0
	10	Rumunia	5 242,2
	11	Portugalia	4 358,3
	12	Holandia	3 778,6
	13	Czechy	3 247,1
	14	Dania	3 113,6
	15	Belgia	2 815,8
	16	Łotwa	2 331,4
	17	Grecja	2 274,5
	18	Węgry	1 962,6
	19	Bułgaria	1 638,1
	20	Słowacja	1 433,5
	21	Litwa	1 197,9
	22	Chorwacja	1 181,2
	23	Estonia	1 056,3
	24	Słowenia	989,5
	25	Irlandia	744,1
	26	Luksemburg	93,7

$$I(Y) = \frac{\max_i y_i}{\min_i y_i} = 351,26$$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji zawartych w „Ochrona środowiska Environment 2014”, GUS Warszawa, 2014.

$I(Y)$ to iloraz wartości skrajnych zmiennej określającej wielkość produkcji energii odnawialnej w państwach UE w 2012 roku. Biorąc pod uwagę wielkość produkcji odnawialnej odnotowano dużo większą wartość ilorazu wielkości skrajnych niż ma to miejsce w przypadku emisji gazów cieplarnianych. Okazuje się, iż rozpiętość między państwami zajmującymi pierwszą i ostatnią lokatę w rankingu (mierzona ilorazem) wynosi ponad 351. Kolejne miejsce - z dużo mniejszą produkcją- zajmują: Francja 20,8 mln toe, Szwecja 18,5 mln toe, Włochy 18,1 mln toe i Hiszpania 14,5 mln toe. Polska z produkcją energii odnawialnej ok. 8,5 mln toe plasuje się w tym rankingu na ósmym miejscu. Trzy państwa o małych powierzchniach wykazują relatywnie niski stopień pozyskiwania energii odnawialnej (poniżej 1 mln toe), są to: Słowenia, Irlandia i Luksemburg.

Porównania międzyrankingowe

Problemem nasuwającym się w czasie badań porównawczych jest podobieństwo między zbudowanymi rankingami obiektów. Porównanie dwóch układów rankingowych oznaczonych symbolami p oraz q złożonych z n obiektów umożliwi wykorzystanie miary podobieństwa m_{pq} [Kukula 1986]:

$$m_{pq} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^n |d_{i(pq)}|}{n^2 - z} \quad \left(\begin{array}{l} i = 1, \dots, n \\ p, q = 1, \dots, v \end{array} \right), \quad (1)$$

gdzie: $d_{i(pq)} = c_{ip} - c_{iq}$, c_{ip} – pozycja i -tego obiektu w rankingu C_p ,
 c_{iq} – pozycja i -tego obiektu w rankingu C_q ,

Ponadto:

$$z = \begin{cases} 0 & \text{gdy } n \in P \\ 1 & \text{gdy } n \notin P \end{cases} \quad (3)$$

P – zbiór parzystych liczb naturalnych.

Wyznaczone za pomocą wzoru (1) mierniki podobieństwa spełniają relację:

$$m_{pq} \in [0,1] \quad (4)$$

Jeśli dwa porównywane rankingi C_p i C_q są identyczne wówczas $m_{pq}=1$, oznacza to, maksymalne podobieństwo. Jeśli zaś $m_{pq}=0$, wówczas porównywane układy porządkowe są w najwyższym stopniu niepodobne- zróżnicowane. Jako przykład niech posłużą dwa układy porządkowe: $C_1 = \{A,G,B,F,H,C,I,E,D\}$ oraz $C_2 = \{D,E,I,C,H,F,B,G,A\}$. Litery oznaczają umowne obiekty.

Celem przeprowadzenia badań komparatywnych w zakresie stopnia podobieństwa zbudowanych rankingów (tab. 1, 2 i 3) oraz zweryfikowania postawionej na wstępie

hipotezy, wyznaczono wartości miary m_{pq} dla $p, q=1,2,3$. Ponumerowane od 1 do 3 rankingi dotyczą:

- C_1 - emisji gazów cieplarnianych w 26 państwach UE,
- C_2 - przeciętnego tempa zmian emisji gazów cieplarnianych w państwach UE,
- C_3 - wielkości produkcji energii odnawialnej w państwach UE.

Tabela 4 zawiera pozycję, jaką dany kraj zajmuje w każdym z trzech rankingów (C_1, C_2, C_3).

Tabela 4. Pozycje rankingowe państw UE w trzech kolejno przedstawionych układach porządkowych

Table 4. Ranks of the EU countries in three sequentially presented arrangements

Lp.	Państwo	Pozycje rankingowe		
		C_{11}	C_{12}	C_{13}
1	Austria	12	19	7
2	Belgia	9	2	15
3	Bułgaria	16	22	19
4	Chorwacja	21	18	22
5	Czechy	8	17	13
6	Dania	19	1	14
7	Estonia	23	25	23
8	Finlandia	14	12	6
9	Francja	3	10	2
10	Grecja	11	11	17
11	Hiszpania	6	15	5
12	Holandia	7	14	12
13	Irlandia	17	8	25
14	Litwa	22	24	21
15	Luksemburg	25	26	26
16	Łotwa	26	23	16
17	Niemcy	1	16	1
18	Polska	5	21	8
19	Portugalia	13	3	11
20	Rumunia	10	13	10
21	Słowenia	24	20	24
22	Słowacja	20	9	20
23	Szwecja	18	7	3
24	Węgry	15	4	18
25	Wielka Brytania	2	6	9
26	Włochy	4	5	4

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabel 1, 2 i 3.

Na podstawie informacji z tab. 4 obliczono wartości miary m_{pq} dla wszystkich porównywanych par obiektów, które zapisano w postaci macierzy M :

$$M = [m_{pq}] = \begin{bmatrix} 1 & m_{12} & m_{13} \\ & 1 & m_{23} \\ & & 1 \end{bmatrix}_{(3 \times 3)} \quad (5)$$

Macierz M jest macierzą kwadratową i symetryczną.

Macierz (5) po wykonaniu odpowiednich obliczeń przedstawia się następująco:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0.473 & 0.716 \\ & 1 & 0.450 \\ & & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dane zawarte w macierzy (6) wskazują, iż największe podobieństwo charakteryzuje rankingi C_1 i C_3 . Oznacza to, iż w ślad za rozmiarami emisji gazów cieplarnianych podąża w znacznym stopniu pozyskiwanie energii odnawialnej. Związek ten jest zaszłością oczekiwaną. Natomiast w dużo mniejszym stopniu są do siebie podobne rankingi C_1 i C_2 oraz C_2 i C_3 . Wyniki te należy zinterpretować w ten sposób, iż ranking przeciętnego tempa zmian emisji gazów cieplarnianych jest w niskim stopniu podobny do rankingu jego emisji oraz w jeszcze niższym stopniu do rankingu opisującego wielkość produkcji odnawialnej w państwach UE. Na tej podstawie można stwierdzić, iż prawidłowość większej emisji gazów cieplarnianych- więcej produkcji energii odnawialnej potwierdza się lecz w stopniu niepełnym.

Podsumowanie

Zrealizowane badania oraz ich wyniki nasuwają kilka spostrzeżeń i refleksji natury ogólnej.

1. Prezentowana procedura porównań międzyrankingowych jawi się dobrym narzędziem badań porównawczych w skali międzynarodowej.
2. Ranking pierwszy (C_1) dotyczący wielkości emisji gazów cieplarnianych ujawnia istotne różnice między poszczególnymi państwami UE ($I(X) \cong 85$).
3. Jeszcze większe zróżnicowania między państwami odnotowano w rankingu C_3 , gdzie $I(Y) \cong 351$. Oznacza to, iż rozpiętość w zakresie produkcji energii odnawialnej między krajami UE jest znacznie większa niż w emisji gazów cieplarnianych.
4. Największym emitentem gazów cieplarnianych w UE są Niemcy, ale również w produkcji energii odnawialnej państwo to zajmuje pierwszą lokatę w rankingu wyprzedzając zdecydowanie pozostałe. Skojarzenie to można ocenić pozytywnie.
5. Polska zajmuje piąte miejsce na liście największych emitentów gazów cieplarnianych w UE oraz aż dwudziestą pierwszą pozycję w rankingu obrazującym przeciętne tempo zmian jego emisji. Należy nadmienić, iż Polska wykazuje wprawdzie nieznaczną ale jednak wzrostową tendencję emisji gazów cieplarnianych, gdy większość państw UE odnotowuje jej trendy spadkowe. Wszystko to mimo ósmej lokaty w zakresie

- pozyskiwania energii odnawialnej, skłania do wystawienia negatywnej oceny omawianych elementów biogospodarki w Polsce.
6. Znajomość elementów macierzy M umożliwia porównania w zakresie podobieństwa wszystkich par rankingowych.
 7. Weryfikowana hipoteza (postawiona na wstępie artykułu) w świetle uzyskanych wyników znajduje w znacznym stopniu potwierdzenie ($m_{13}=0,716$). Układy porządkowe wielkości emisji gazów cieplarnianych oraz produkcji energii odnawialnej są w dużej mierze do siebie podobne. Oznacza to, że państwa o stosunkowo wysokiej emisji gazów cieplarnianych w UE dbają na ogół o rozwój alternatywnych źródeł energii, które stanowią energię odnawialną.
 8. Niższa relatywnie zgodność występuje między rankingami C_1 i C_2 ($m_{12}=0,473$) oraz C_2 i C_3 ($m_{23}=0,450$). Przeciętne tempo zmian emisji gazów cieplarnianych nie idzie zatem w parze ani z ich wielkością emisji ani z wielkością produkcji energii odnawialnej.
 9. Ranking obiektów można budować zarówno w przypadku badania *zjawisk prostych*, opisywanych przez jedną zmienną, jak i w sytuacji, gdy ocenie poddawane jest *zjawisko złożone* opisywane przez więcej niż jedną zmienną. W rankingach przedstawionych w artykule występują trzy *zjawiska proste*, każde charakteryzowane przez jedną zmienną zaś obiektami są państwa UE.
 10. *Metoda porównań międzyrankingowych* ma zastosowanie w obu wymienionych sytuacjach. Można także porównywać ranking konstruowany na bazie *zmiennej syntetycznej* opisującej stan obiektów ze względu na *zjawisko złożone* z rankingiem budowanym w oparciu o jedną zmienną (przypadek *zjawiska prostego*). Podział zjawisk na proste i złożone można znaleźć w pozycji [Jajuga K.(1993)].
 11. W Polsce daje się zauważyć wciąż pogłębiającą się społeczną świadomość związaną z ochroną środowiska oraz potrzebą wzrostu skali pozyskiwania i wykorzystywania energii odnawialnej [por. Górską 2013].
 12. Szerokie wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii stwarza perspektywę dalszego rozwoju biogospodarki w UE [zob. Lechwar, Kuźniar 2014 i Adamowicz 2014].

Literatura

- Adamowicz M. [2014]: Europejska koncepcja biogospodarki i jej przełożenie na działania praktyczne, *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, vol 7, nr 4.
- Górska A. [2013]: Wydatki na ochronę środowiska w Polsce, *Zeszyty Naukowe SGGW Problemy Rolnictwa Światowego*, t. 13, z. 3.
- Jajuga K. [1993]: Statystyczna analiza wielowymiarowa, PWN, Warszawa.
- Kukuła K. [1986]: Propozycja miary zgodności układów porządkowych, *Zeszyty Naukowe AE*, Kraków.
- Kukuła K. [2014]: Wybrane problemy ochrony środowiska w Polsce w świetle wielowymiarowej analizy porównawczej, *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, t. XV, z. 3.
- Kukuła K. [2015]: Dynamics of Producing Renewable Energy in Poland and UE-28 Countries Within the Period of 2004-2012, *Folia Oeconomica Stetinensis*.
- Lechwar M., Kuźniar W. [2014]: Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii szansą na rozwój biogospodarki, *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, vol. 7, nr 4.