



Authors' contribution/  
Wkład autorów:  
A. Study design/  
Zaplanowanie badań  
B. Data collection/  
Zebranie danych  
C. Statistical analysis/  
Analiza statystyczna  
D. Data interpretation/  
Interpretacja danych/  
E. Manuscript  
preparation/  
Przygotowanie tekstu  
F. Literature search/  
Opracowanie  
piśmiennictwa  
G. Funds collection/  
Pozyskanie funduszy

**DEGREE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN POLAND  
- RANKING OF THE PROVINCES IN 2016**

**STOPIEŃ ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA W POLSCE  
- RANKING WOJEWÓDZTW W 2016 ROKU**

**Karol Kukuła**<sup>1(A,B,C,D,E,F,G)</sup>

<sup>1</sup>State Higher Vocational School in Tarnow  
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie

Kukuła, K. (2019). Degree of environmental pollution in Poland - ranking of the provinces in 2016/ Stopień zanieczyszczenia środowiska w Polsce – ranking województw w 2016 roku. *Economic and Regional Studies*, 12(1), p. 23-32. <https://doi.org/10.2478/ers-2019-0003>

ORIGINAL ARTICLE

JEL code: C1

Submitted:  
September 2018

Accepted:  
January 2019

Tables: 3  
Figures: 0  
References: 12

**Summary**

**Subject and purpose of work:** The article presents research aimed at creating the ranking of provinces due to the degree of environmental pollution. The presentation of the spatial distribution of pollutants should result in taking appropriate pro-ecological actions in the provinces.

**Materials and methods:** Secondary material included in the research was the publication entitled "Environmental Protection – Environment 2017" by the Central Statistical Office. The method of ranking diagnostic variables was applied and then a synthetic variable determining the level of pollution in individual provinces was constructed, which made it possible to create their ranking. In the final stage, the author's own method was implemented in order to divide the provinces into 3 groups.

**Results:** The provinces were ranked from a relatively little to very polluted ones. Three groups of provinces were distinguished according to the criterion discussed. It has been revealed that the third group with the highest degree of environmental contamination includes as many as 8 provinces, that is half of them.

**Conclusions:** The author believes that in order to prepare a more precise spatial diagnosis of the state of the natural environment in Poland, research has to be extended by including adequate information at the county level.

**Keywords:** environmental protection, synthetic indicator, ranking, province

ORYGINALNY ARTYKUŁ  
NAUKOWY

Klasyfikacja JEL: C1

Zgłoszony:  
wrzesień 2018

Zaakceptowany:  
styczeń 2019

Tabele: 3  
Rysunki: 0  
Literatura: 12

**Streszczenie**

**Przedmiot i cel pracy:** W artykule przedstawiono badania mające na celu budowę rankingu województw ze względu na stopień zanieczyszczenia środowiska. Ukazanie przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń skutkować winno podjęciem właściwych działań proekologicznych w przestrzeni województw.

**Materiały i metody:** W badaniach wykorzystano materiały wtórne zamieszczone w wydawnictwie GUS „Ochrona Środowiska – Environment 2017”. Zastosowano metodę rangowania zmiennych diagnostycznych, a następnie skonstruowano zmienną syntetyczną określającą poziom zanieczyszczeń w poszczególnych województwach, co pozwoliło na budowę ich rankingu. W końcowym etapie wykorzystując metodę własną, dokonano podziału województw na 3 grupy.

**Wyniki:** Ranking zawiera uporządkowane województwa od stosunkowo mało do bardzo zanieczyszczonych. Wyodrębniono 3 grupy województw ze względu na omawiane kryterium. Okazuje się, że do grupy III o najwyższym stopniu skażenia środowiska należy aż 8 województw, co stanowi połowę ich liczbeności.

**Wnioski:** Autor uważa, iż celem sporządzenia bardziej precyzyjnej przestrzennie diagnozy w zakresie stanu środowiska naturalnego w Polsce należy rozszerzyć badania poprzez uwzględnienie adekwatnych informacji na poziomie powiatów.

**Słowa kluczowe:** ochrona środowiska, zmienna syntetyczna, ranking, województwo

**Address for correspondence/ Adres korespondencyjny:** prof. zw. dr hab. Karol Kukuła, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Instytut Administracyjno-Ekonomiczny, Zakład Ekonomii, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów, Polska; tel. +48 604-642-329; e-mail: ksm@ur.krakow.pl

**Journal indexed in/ Czasopismo indeksowane w:** AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List, ICV 2017: 100,00; Polish Ministry of Science and Higher Education 2015-2018: 9 points/ AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List ICV 2017: 100,00; Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2015-2018: 9 punktów. **Copyright:** © 2019 Pope John Paul II State School of Higher Education in Białą Podlaska, Karol Kukuła. All articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

## Introduction

At present, it is already a commonplace view that environmental pollution is a continuous and inevitable process. This process is intrinsic to the human existence, his activities and technological progress. Continuous pollution of the environment generates threats related to the health and aesthetics of society's life. It is extremely important, not only for economic reasons, to shape attitudes of responsibility for the environment in which we live at the beginning of the 21st century. These attitudes are to induce a man to conduct all activities aimed at restoring the environment to the highest possible degree of cleanliness. These pro-ecological activities create a perspective for present and future generations to live in a clean, healthy and pleasant environment.

The importance of pro-ecological projects is appreciated by many authors publishing in the recent past. And so: M. Adamowicz (2014), E. K. Chyłek (2014) and I. Wielewska and M. Kasprzak (2016) point out that the implementation of the bio-economy strategy will ensure, among others, proper environmental protection. In the report of the National Conference on natural and valuable areas, D. Guzal-Dec et al. (2016) indicate that only a comprehensive consideration of the sphere of economic, ecological and social activities may decide about preserving and improving the quality of the environment. A. P. Wiatrak (2017), writing about the needs and directions of innovation support in agribusiness, demands protection and improvement of groundwater status. K. Kukuła (2015) emphasizes that proper investment for pro-ecological purposes in rural areas contributes significantly to environmental cleanliness. A. Pieniążek (2016) states that there is a need to include many non-governmental organizations in pro-ecological activities.

Accurate pro-ecological ventures undertaken at the level of regions (provinces) are possible after prior diagnosis of their pollution status. This problem is reflected in the allocation of financial resources that the country spends on environmental protection, as well as their generation in the regions.

The purpose of the work was formulated by appreciating the importance of the problem discussed. The aim of the article is an attempt to measure the level of environmental pollution at the level of provinces. The next task is to build a ranking of provinces in a quantitative manner illustrating the spatial distribution of the phenomenon of environmental pollution in Poland in 2016.

Due to the fact that the phenomenon of environmental pollution is complex [cf. Kukuła 2000], while attempting to evaluate it, first it is necessary to choose the diagnostic variables describing this phenomenon. The next research task is to choose the method. There are several methods of linear ordering, however, this study uses a simple ranking method, in many cases giving similar results to the results obtained using more complex procedures. Then, using the ranking results of individual diagnostic variables, the synthetic indicator (was determined), which enabled the construction of the

## Wstęp

Obecnie dość już powszechnym poglądem jest, iż zanieczyszczanie środowiska stanowi proces ciągły i nieunikniony. Proces ten jest nierozzerwalnie związany z egzystencją człowieka, jego działaniami oraz postępowaniem technologicznym. Ciągłe zanieczyszczanie środowiska generuje zagrożenia odnoszące się do stanu zdrowia i estetyki życia społeczeństwa. Niezwykle ważnym, nie tylko ze względów ekonomicznych, jest kształtowanie postaw odpowiedzialności za środowisko, w którym żyjemy u progu XXI wieku. Postawy te mają skłonić człowieka do uruchomienia wszelkich działań mających za zadanie przywrócić środowisku w możliwie najwyższym stopniu stan czystości. Owe działania proekologiczne stwarzają perspektywę zarówno obecnym jak i przyszłym pokoleniom na egzystowanie w czystym, zdrowym i przyjemnym otoczeniu.

Wagę przedsięwzięć proekologicznych docenia wielu autorów publikujących w niedawnej przeszłości. I tak: M. Adamowicz (2014), E.K. Chyłek (2014) oraz I. Wielewska i M. Kasprzak (2016) zwracają uwagę, iż wdrażanie strategii biogospodarki zapewni między innymi właściwą ochronę środowiska. W sprawozdaniu z Ogólnopolskiej Konferencji poświęconej obszarom przyrodniczo cennym D. Guzal-Dec i inni (2016) wskazują, że tylko kompleksowe uwzględnienie sfery działań ekonomicznych, ekologicznych i społecznych może decydować o zachowaniu i poprawie jakości środowiska. A.P. Wiatrak (2017) pisząc o potrzebach i kierunkach wspierania innowacyjności w agrobiznesie domaga się ochrony i poprawy stanu wód gruntowych. K. Kukuła (2015) podkreśla, iż właściwe inwestowanie na cele proekologiczne na obszarach wiejskich przyczynia się w znacznej mierze do zachowania czystości środowiska. A. Pieniążek (2016) stwierdza, iż istnieje potrzeba włączenia w działania proekologiczne licznych organizacji pozarządowych.

Trafne przedsięwzięcia proekologiczne podejmowane na szczeblu regionów (województw) są możliwe po uprzednim zdiagnozowaniu ich stanu zanieczyszczenia. Problem ten znajduje odbicie w alokacji środków finansowych, jakie państwo przeznacza na ochronę środowiska, jak również z ich generowaniem w regionach.

Doceniając wagę omawianego problemu, sformułowano cel pracy. Celem artykułu jest podjęcie próby oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska na poziomie województw. Kolejnym zadaniem jest budowa rankingu województw ukazującego w sposób kwantytatywny rozkład przestrzenny zjawiska zanieczyszczenia środowiska w Polsce w 2016 roku.

Z uwagi na to, iż zjawisko zanieczyszczenia środowiska jest zjawiskiem złożonym [zob. Kukuła 2000], to podejmując próbę jego oceny, należy w pierwszej kolejności dokonać wyboru zmiennych diagnostycznych opisujących to zjawisko. Kolejnym zadaniem badawczym jest wybór metody. Istnieje kilka metod porządkowania liniowego jednak w tym opracowaniu wykorzystano prostą metodę rangową, dającą w wielu przypadkach zbliżone rezultaty do wyników

ranking of provinces from the least to the relatively most polluting environment. In the final stage of the study, provinces were divided into three groups:

- group I with a relatively high degree of environmental cleanliness,
- group II with an average level of pollution,
- group III with a relatively high degree of pollution.

### Selection of diagnostic variables

Diagnostic variables that underlie the procedure of province ranking construction should meet two criteria:

- substantive criterion,
- statistical criterion.

The substantive criterion is brought down to the selection of such diagnostic variables, which according to the experts of the issue and also because of the availability of information, are related to the described complex phenomenon to the highest degree possible. This is a criterion that is undoubtedly a significant degree of subjectivism because the choice of variables in this case depends on the state of knowledge of the researcher taking up the subject matter of his interest.

The statistical criterion is another, second criterion that should be taken into account. This criterion is aimed at guaranteeing a sufficient degree of variability of diagnostic variables qualified for the study. It is assumed that after meeting the substantive criterion  $m$  of potential diagnostic variables it is qualified to the description of the studied complex phenomenon in  $n$  various objects - here, provinces ( $i=1, \dots, n$ ). Data about  $m$  variables in  $n$  provinces form a matrix that is the starting point for further proceedings:

$$X = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} (i = 1, \dots, n) \\ (j = 1, \dots, m) \end{matrix} \quad (1)$$

This means that each row of the matrix (1) is assigned to a given province giving its image due to all variables describing the examined complex phenomenon. To determine the degree of variability of the pre-selected variables, one of two methods can be used:

1. analysis of the coefficients of variability  $[V(X_j)]$  of each of the pre-qualified diagnostic variables,
2. analysis of the values of extreme quotient of each of the potential variables.

uzyskiwanych przy zastosowaniu bardziej złożonych procedur. Następnie, wykorzystując wyniki rangowania poszczególnych zmiennych diagnostycznych wyznaczono zmienną syntetyczną, co umożliwiło budowę rankingu województw od najmniej do relatywnie najbardziej zanieczyszczających środowisko. W końcowej fazie badań podzielono województwa na 3 grupy:

- grupa I o relatywnie wysokim stopniu czystości środowiska,
- grupa II o przeciętnym poziomie zanieczyszczeń,
- grupa III o stosunkowo wysokim stopniu zanieczyszczeń.

### Wybór zmiennych diagnostycznych

Zmienne diagnostyczne, leżące u podstaw procedury budowy rankingu województw winny spełniać dwa kryteria:

- kryterium merytoryczne,
- kryterium statystyczne.

Kryterium merytoryczne sprowadza się do wyboru takich zmiennych diagnostycznych, które wg znawców zagadnienia a także ze względu na dostępność informacji, w możliwie wysokim stopniu są powiązane przyczynowo z opisywanym zjawiskiem złożonym. Jest to kryterium obarczone niewątpliwie znacznym stopniem subiektywizmu ponieważ wybór zmiennych w tym przypadku jest uzależniony od stanu wiedzy badacza podejmującego problematykę będącą przedmiotem jego zainteresowania.

Kolejnym, drugim kryterium, które należy wziąć pod uwagę jest kryterium statystyczne. Kryterium to ma na celu zagwarantowanie dostatecznego stopnia zmienności zakwalifikowanych do badań zmiennych diagnostycznych. Zakłada się, że po spełnieniu kryterium merytorycznego  $m$  potencjalnych zmiennych diagnostycznych jest zakwalifikowane do opisu badanego zjawiska złożonego w  $n$  różnych obiektach - tu województwach ( $i=1, \dots, n$ ). Dane o  $m$  zmiennych w  $n$  województwach tworzą macierz będącą bazą wyjściową dalszego postępowania:

Oznacza to, iż każdy wiersz macierzy (1) przyporządkowany jest określone województwu dając jego obraz ze względu na wszystkie zmienne opisujące badane zjawisko złożone. Aby ustalić stopień zmienności wstępnie wytypowanych zmiennych można wykorzystać jedną z dwóch metod:

1. analiza wartości współczynników zmienności  $[V(X_j)]$  każdej z wstępnie kwalifikowanych zmiennych diagnostycznych,
2. analiza wartości ilorazów skrajnych każdej z potencjalnych zmiennych.

The second of the two signalling methods was used in the selection of diagnostic variables. In this method, for each of the potential variables, the value of the quotient of its extreme values should be determined:

$$I(X_j) = \frac{\max_i x_{ij}}{\min_i x_{ij}}, \quad \min_i x_{ij} > 0. \quad (2)$$

The following variables are eligible for further testing:

$$I(X_j) > 2 \quad (3)$$

Fulfilment of inequalities (3) guarantees that with variables being stimulants, the value of the variable corresponding to the best object exceeds the value of this variable in the worst object at least twice. It should be emphasized that both (substantive and statistical) criteria should be met simultaneously.

Many authors postulate that the variables qualified for creating a ranking describing a complex phenomenon should be poorly correlated with each other. Such an assumption functions in econometric modelling, however, it is completely unnecessary, and it may even lead to erroneous results in the case of building the ranking [Kukuła, Luty (2018)].

As a result of applying both criteria, the following diagnostic variables were selected:

$X_1$  – share of the devastated and degraded land area requiring reclamation in the area of the province,

$X_2$  – water consumption for the needs of the national economy and population in  $\text{hm}^3/100 \text{ km}^2$ ,

$X_3$  – industrial and municipal sewage discharged to surface waters or to the ground in  $\text{hm}^3/100 \text{ km}^2$ ,

$X_4$  – dust emission from especially burdensome plants in  $\text{t}/\text{km}^2$ ,

$X_5$  – gas emission from particularly burdensome plants in  $\text{t}/\text{km}^2$ ,

$X_6$  – waste generated during the year  $\text{t}/\text{km}^2$ .

All these variables are stimulants due to the phenomenon of environmental pollution.

## Rank method

Another research task is to choose a method which application will result in the ranking of objects (provinces) due to the level of a complex phenomenon, i.e. due to the level of environmental pollution. This study uses a simple ranking method that in many cases gives similar results to the results obtained using more precise procedures. The research previously carried out by the authors [Kukuła, Luty (2015)] showed that each of the applied methods of linear ordering gives different results.

In the rank method, the matrix (1) should be replaced with the  $R$  rank matrix, consisting of the position occupied by the given province in terms of

W doborze zmiennych diagnostycznych wykorzystano drugą z dwóch wyżej sygnalizowanych metod. W metodzie tej dla każdej z potencjalnych zmiennych należy wyznaczyć wartość ilorazu jej skrajnych wielkości:

Do dalszych badań kwalifikują się te zmienne, które spełniają warunek:

Spełnienie nierówności (3) daje gwarancję, iż przy zmiennych będących stymulantami wartość zmiennej odpowiadająca najlepszemu obiektowi co najmniej dwukrotnie przewyższa wartość tejże zmiennej w najgorszym obiekcie. Należy podkreślić, iż oba kryteria (merytoryczne i statystyczne) winny być spełnione jednocześnie.

Wielu autorów postuluje, aby zakwalifikowane zmienne do budowy rankingu opisującego zjawisko złożone były słabo skorelowane między sobą. Założenie takie funkcjonuje w modelowaniu ekonometrycznym natomiast jest zupełnie zbędne, ba nawet może prowadzić do błędnych wyników w przypadku budowy rankingu [Kukuła, Luty (2018)].

W wyniku zastosowania obu kryteriów wybrano następujące zmienne diagnostyczne:

$X_1$  – udział powierzchni gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa,

$X_2$  – zużycie wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności w  $\text{hm}^3/100 \text{ km}^2$ ,

$X_3$  – ścieki przemysłowe i komunalne odprowadzone do wód powierzchniowych lub do ziemi w  $\text{hm}^3/100 \text{ km}^2$ ,

$X_4$  – emisja pyłów z zakładów szczególnie uciążliwych w  $\text{t}/\text{km}^2$ ,

$X_5$  – emisja gazów z zakładów szczególnie uciążliwych w  $\text{t}/\text{km}^2$ ,

$X_6$  – odpady wytworzone w ciągu roku w  $\text{t}/\text{km}^2$ .

Wszystkie te zmienne są stymulantami ze względu na zjawisko zanieczyszczenia środowiska.

## Metoda rangowa

Kolejnym zadaniem badawczym jest wybór metody, której zastosowanie przyniesie efekt w postaci rankingu obiektów (województw) ze względu na poziom zjawiska złożonego, tj. ze względu na poziom zanieczyszczenia środowiska. W tym opracowaniu zastosowano prostą metodę rangową, dającą w wielu przypadkach zbliżone rezultaty do wyników uzyskiwanych przy użyciu bardziej precyzyjnych procedur. Badania wcześniej prowadzone przez zespół autorski [Kukuła, Luty (2015)] pokazały, iż każda z stosowanych metod porządkowania liniowego przynosi różniące się od siebie wyniki.

W metodzie rangowej macierz (1) należy zastąpić macierzą rang  $R$ , złożoną z pozycji jaką zajmuje dane

the value of a given variable. The rank matrix takes the form of:

województwo w zakresie wartości danej zmiennej. Macierz rang przyjmuje postać:

$$R = [r_{ij}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}, \quad \begin{cases} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, m \end{cases} \quad (4)$$

Next, we add ranks by rows and receive:

Następnie dokonujemy sumowania rang po wierszach otrzymując:

$$R_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \quad (5)$$

The size  $R_i$  determines how many rank points have been received by the  $i$ -th object (province). Next, an average rank should be set for each object:

Wielkość  $R_i$  określa ile punktów rangowych uzyskał  $i$ -ty obiekt (województwo). Kolejno należy wyznaczyć przeciętną rangę dla każdego obiektu:

$$Q_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m r_{ij} = \frac{1}{m} R_i \quad (6)$$

The obtained results form a vector  $Q$ :

Otrzymane wyniki tworzą wektor  $Q$ :

$$Q = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Elements of the vector (7) create the base necessary to build the rank (of objects) according to the degree of environmental pollution.

Elementy wektora (7) stwarzają bazę potrzebną do budowy rankingu (obiektów) ze względu na stopień zanieczyszczenia środowiska.

## Research results

The variables that are qualified for further analysis are essentially important and are characterized by a sufficient degree of variability. Table 1 shows the values of the measure (2) and as can be seen, all previously selected diagnostic variables which meet the condition (3). Their quotient of extreme values far exceeds number 2, which means that these variables sufficiently differentiate the examined provinces.

## Wyniki badań

Zakwalifikowane do dalszego postępowania badawczego zmienne są merytorycznie ważne a także charakteryzują się dostatecznym stopniem zmienności. W tab.1 znajdują się wartości miary (2) i jak widać wszystkie wcześniej wytypowane zmienne diagnostyczne spełniają warunek (3). Ich iloraz wartości skrajnych znacznie przekracza liczbę 2, co oznacza iż zmienne te w sposób wystarczający różnicują badane województwa.

**Table 1.** Variability of diagnostic features selected according to the substantive criterion

**Tabela 1.** Zmienność cech diagnostycznych wytypowanych ze względu na kryterium merytoryczne

Diagnostic variables/ Zmienne diagnostyczne	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Quotient of extreme values I(X <sub>i</sub> )/ Iloraz wartości skrajnych I(X <sub>j</sub> )	4.91	31.37	69.05	11.37	84.02	83.51

Source: own calculations based on data contained in: Environmental protection - Environment 2017, CSO (Central Statistical Office) Warsaw.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych zawartych w: Ochrona środowiska – Environment 2017, GUS Warszawa.

The selected variables ( $x_1, \dots, x_6$ ) were ranked individually. Values of their rank are presented in tab.2. In the last column, the sums of ranks for individual provinces were written using the formula (5). Subsequently, using the formula (6), the values of

Wytypowane zmienne ( $X_1, \dots, X_6$ ) poddano indywidualnemu rangowaniu. Wartości ich rang są przedstawione w tab.2. W ostatniej kolumnie zapisano sumy rang dla poszczególnych województw otrzymane przy zastosowaniu wzoru (5). Kolejno, wyko-

synthetic  $Q_i$  variables were determined as provinces' assessments according to the level of the complex phenomenon studied. The ranking of provinces was created on the basis of these values, according to the level of environmental pollution (see Tab.3).

The next step after determining the order of provinces according to the state of the environment is their division into groups. A decision was made to divide all objects into 3 groups, due to the relatively low number of provinces. This is an arbitrary decision. According to the following procedure, the group of provinces can be divided into any number ( $k$ ) of groups.

rzystując wzór (6), wyznaczono wartości zmiennych syntetycznych  $Q_i$  będące ocenami województw ze względu na poziom badanego zjawiska złożonego. Na podstawie tych wartości zbudowano ranking województw ze względu na poziom zanieczyszczenia środowiska (zob. tab.3).

Następnym krokiem po ustaleniu kolejności województw ze względu na stan środowiska jest ich podział na grupy. Podjęto decyzję podziału wszystkich obiektów na 3 grupy ze względu na stosunkowo niską liczebność województw. Decyzja ta jest decyzją arbitralną. Według podanej niżej procedury, zbiorowość województw można podzielić na dowolną liczbę ( $k$ ) grup.

**Table 2.** Ranks of the diagnostic variables in the individual provinces and their sums on the basis of data from 2016  
**Tabela 2.** Rangi zmiennych diagnostycznych w poszczególnych województwach oraz ich sumy na podstawie danych z 2016 roku

No./ L.p.	Province/ Województwo	Ranks of diagnostic variables:/ Rangi zmiennych diagnostycznych:						Sum of the ranks/ Suma rang $R_i$
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	
1	Lower Silesia/ Dolnośląskie	1	6	7	4	9	2	29
2	Kuyavian-Pomeranian/ Kujawsko-pomorskie	10	10	11	7	7	3	48
3	Lublin/ Lubelskie	14	8	16	9	12	6	65
4	Lubusz/ Lubuskie	9	16	10	11	16	15	77
5	Lodz/ Łódzkie	6	9	12	5	2	4	38
6	Lesser Poland/ Małopolskie	12	5	5	6	4	7	39
7	Masovia/ Mazowieckie	7	1	1	3	3	11	26
8	Opole/ Opolskie	5	13	14	10	8	10	60
9	Subcarpathia/ Podkarpackie	11	11	8	10	13	14	67
10	Podlasie/ Podlaskie	15	15	15	12	15	16	88
11	Pomerania/ Pomorskie	13	12	9	8	11	12	65
12	Silesia/ Śląskie	2	7	6	1	1	1	18
13	Holy Cross/ Świętokrzyskie	4	3	3	8	5	5	28
14	Warmia-Masuria/ Warmińsko-mazurskie	8	14	13	12	14	13	74
15	Greater Poland/ Wielkopolskie	3	2	2	2	6	9	24
16	West Pomerania/ Zachodniopomorskie	16	4	4	4	10	8	46

Source: own study based on data contained in: Environmental protection - Environment 2017, CSO (Central Statistical Office) Warsaw.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zawartych w: Ochrona środowiska – Environment 2017, GUS Warszawa.

**Table 3.** Ranking of provinces due to the state of environmental pollution in 2016 (synthetic variable  $Q_i$  arranged in a descending order)**Tabela 3.** Ranking województw ze względu na stan zanieczyszczenia środowiska w 2016 roku (zmienna syntetyczna  $Q_i$  uporządkowana nierosnąco)

Ranking position/ Pozycja w rankingu	Province/ Województwo	The value of a synthetic variable $Q_i$ / Wartość zmiennej syntetycznej $Q_i$	Groups/ Grupy
1	Podlasie/ podlaskie	14.667	I (6 provinces) $Q_i \in [10,778,14,667]$
2	Lubusz/ lubuskie	12.833	
3	Warmia-Masuria/ warmińsko-mazurskie	12.333	
4	Subcarpathia/ podkarpackie	11.167	
5-6	Lublin/ lubelskie	10.833	
	Pomerania/ pomorskie	10.833	
7	Opole/ opolskie	10.000	II (3 provinces) $Q_i \in [6,889,10,778]$
8	Kuyavian-Pomeranian/ kujawsko - pomorskie	8.000	
9	West Pomerania/ zachodniopomorskie	7.667	
10	Lesser Poland/ małopolskie	6.500	III (7 provinces) $Q_i \in [3,000,6,889]$
11	Lodz/ łódzkie	6.333	
12	Lower Silesia/ dolnośląskie	4.833	
13	Holy Cross/ świętokrzyskie	4.667	
14	Masovia/ mazowieckie	4.333	
15	Greater Poland/ wielkopolskie	4.000	
16	Silesia/ śląskie	3.000	
Ratio of extreme values of a synthetic variable $Q_i$ / Iloraz wartości skrajnych zmiennej syntetycznej $Q_i$			$I(Q_i) = 4.889$

Source: own study based on data in Tab. 2.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zawartych w tab. 2.

This is the procedure used to divide  $n$  objects that make up a given ranking. The objects are arranged in a descending order in relation to the synthetic variable  $Q_i$ . They should be divided into  $k$  groups:  $G_1, G_2, \dots, G_k$ . The group number is marked with  $p$ , where  $p = 1, 2, \dots, k$  and  $2 \leq k < n$ . First, the range of the synthetic variable is determined  $Q_i$ :

$$L(Q_i) = \max_i Q_i - \min_i Q_i \quad (8)$$

Assuming that the empirical distribution of a synthetic variable is a distribution similar to a rectangular distribution, it is proposed to divide all ranking objects into  $k$  groups in the following way:

$$G_p \text{ dla } Q_i \in \left[ \min_i Q_i + \frac{k-p}{k} L(Q_i), \min_i Q_i + \frac{k-p+1}{k} L(Q_i) \right] \quad (9)$$

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

With the division into 3 groups ( $k = 3$ ) using the formula (9) the following was obtained:

First group:

$$G_1 \text{ dla } Q_i \in \left[ \min_i Q_i + \frac{2}{3} L(Q_i), \min_i Q_i + L(Q_i) \right] \quad (10)$$

Second group:

$$G_2 \text{ dla } Q_i \in \left[ \min_i Q_i + \frac{1}{3} L(Q_i), \min_i Q_i + \frac{2}{3} L(Q_i) \right] \quad (11)$$

A oto wykorzystana procedura podziału  $n$  obiektów, które tworzą dany ranking. Obiekty są uporządkowane nierosnąco względem zmiennej syntetycznej  $Q_i$ . Należy dokonać ich podziału na  $k$  grup:  $G_1, G_2, \dots, G_k$ . Numer grupy oznaczono symbolem  $p$ , przy czym  $p=1, 2, \dots, k$  oraz  $2 \leq k < n$ . W pierwszej kolejności wyznacza się rozstęp zmiennej syntetycznej  $Q_i$ :

Zakładając, że rozkład empiryczny zmiennej syntetycznej jest rozkładem zbliżonym do rozkładu prostokątnego proponuje się podział wszystkich obiektów rankingu na  $k$  grup w sposób następujący:

Przy podziale na 3 grupy ( $k=3$ ) stosując wzór (9) otrzymano:

Grupa pierwsza:

Grupa druga:

Third group:

Grupa trzecia:

$$G_3, dla Q_i \in [ \min_i Q_i, \min_i Q_i + \frac{1}{3} L(Q_i) ] \quad (12)$$

In addition, it should be asessed that for the first group ( $G_1$ ), the value range of the synthetic variable ( $Q_i$ ) is an interval closed from both sides. The formula (8) shows that:

Uzupełniając, należy dodać, iż dla grupy pierwszej ( $G_1$ ) przedział wartości zmiennej syntetycznej ( $Q_i$ ) jest przedziałem obustronnie domkniętym. Z wzoru (8) wynika, że:

$$\max_i Q_i = \min_i Q_i + L(Q_i), \quad (13)$$

therefore, the formula (10) can be written in a more simplified form:

zatem formułę o postaci (10) można zapisać w bardziej uproszczonej formie:

$$G_1, dla Q_i \in [ \min_i Q_i + \frac{2}{3} L(Q_i), \max_i Q_i ]. \quad (14)$$

The division of provinces completing the research is presented in tab.3. The last column of tab.3 also shows the ranges of values of the synthetic variable specifying the affiliation of objects to each of the three groups. Tab.3 informs that in the group with the relatively low environmental pollution there are 6 provinces, only 3 in the group with the average level of pollution and 7 in the group with the relatively high level of pollution. The spatial distribution of objects in relation to the studied phenomenon indicates that almost half of provinces in Poland belongs to the group that pollutes the environment the most (group III).

Podział województw kończący badania jest przedstawiony w tab.3. W ostatniej kolumnie tab.3 podano również przedziały wartości zmiennej syntetycznej określające przynależność obiektów do każdej z trzech grup. Tab.3 informuje, iż w grupie o stosunkowo niskim zanieczyszczeniu środowiska występuje 6 województw, o przeciętnym poziomie zanieczyszczeń, są tylko 3 województwa zaś o relatywnie wysokim stopniu zanieczyszczeń aż siedem województw. Przestrzenny rozkład obiektów względem badanego zjawiska wskazuje, że prawie połowa województw w Polsce należy do grupy najbardziej zanieczyszczającej środowisko (grupa III).

Group I with relatively less polluted environment include the following provinces: Podlasie, Lubusz, Warmia-Masuria, Subcarpathia, Lublin and Pomerania. These provinces are mainly situated in agricultural and tourist-recreational areas. Group II, with moderate pollution, consists of three provinces: Opole, Kuyavia-Pomerania and West Pomerania. These areas are to a certain extent agricultural but relatively well urbanized and not devoid of tourist and recreational values. Finally, the largest group III is formed by the following provinces: Silesia, Masovia, Lower Silesia, Lodz and Lesser Poland. The provinces mentioned occupy heavily industrialized areas, highly urbanized and hence densely populated. This group also includes the Holy Cross and Greater Poland provinces. Both of these provinces have a lower population density than the average for Poland (approx. 123 persons per km<sup>2</sup>). The Greater Poland province is of an agro-industrial nature with a high share of devastated land (3rd place in the rank) with a relatively high consumption of water (2nd place) and a large amount of industrial and municipal sewage discharged into surface waters or land (2nd place). While Holy Cross is a province of weak obsolete industry and equally weak agriculture. In total, this province is considered to be poorer in terms of wealth of its residents. It has relatively a lot of devastated lands requiring reclamation (4th place in the rank), consumes a relatively high amount of water (3rd place) and heavily pollutes surface waters and ground with industrial and municipal sewage (3rd place).

Grupę I ze stosunkowo mniej zanieczyszczonym środowiskiem tworzą województwa: podlaskie, lubuskie, warmińsko-mazurskie, podkarpackie, lubelskie i pomorskie. Województwa te w przeważającej mierze zajmują obszary rolnicze i turystyczno – rekreacyjne. Grupę II, o umiarkowanym stopniu zanieczyszczeń stanowią trzy województwa: opolskie, kujawsko- pomorskie i zachodniopomorskie. Są to obszary w pewnej mierze rolnicze ale stosunkowo dobrze zurbanizowane i nie pozbawione walorów turystyczno-rekreacyjnych. Wreszcie najliczniejszą grupę III, tworzą województwa: śląskie, mazowieckie, dolnośląskie, łódzkie i małopolskie. Wymienione województwa zajmują tereny mocno uprzemysłowione, wysoko zurbanizowane a co za tym idzie gęsto zaludnione. Do grupy tej należą również województwa świętokrzyskie i wielkopolskie. Oba te województwa mają niższą gęstość zaludnienia niż przeciętna dla Polski (ok. 123os/km<sup>2</sup>). Województwo wielkopolskie ma charakter rolniczo-przemysłowy z wysokim udziałem gruntów zdewastowanych (3 lokata w rankingu) o relatywnie dużym zużyciu wody (2 lokata) oraz dużą ilością ścieków przemysłowych i komunalnych odprowadzanych do wód powierzchniowych lub do ziemi (2 lokata). Świętokrzyskie zaś to województwo słabego przestarzałego przemysłu oraz również słabego rolnictwa. W sumie województwo to zaliczane jest do biedniejszych pod względem zamożności mieszkańców. Posiada relatywnie dużo zdewastowanych wymagających rekultywacji gruntów (4 lokata w rankingu), zużywa stosunkowo dużo wody (3 lokata), zanieczyszcza w dużym stopniu wody powierzchniowe i ziemie ściekami przemysłowymi i komunalnymi (3 lokata).



## Conclusions

1. Rational pro-ecological activities should be preceded by a precise diagnosis of the current state of environmental pollution in spatial terms.
2. The state of environmental pollution is a complex phenomenon, possible to describe with the properly selected diagnostic variables. The late professor Zdzisław Hellwig (1968) was the author of the first pioneering work in Poland, illustrating the application of the multidimensional statistical analysis.
3. Selected diagnostic variables affecting the assessment of the level of pollution are characterized by a significant degree of diversity in the spatial layout of provinces.
4. The classification of provinces based on the applied procedure gives a relative picture of environmental pollution in which there are no references to the applicable emission standards. It has been assumed that each environmental pollution is a threat. There is a high or low degree of pollution of the province in relation to the others.
5. The strongest spatial differences are shown by the following variables:  $X_3$ ,  $X_4$  and  $X_6$ . These are, respectively, industrial and municipal sewage discharged to surface waters and to the ground, dust emissions from plants particularly harmful to the environment and the mass of waste generated during the year.
6. The Silesian province is polluting the environment the most, while Podlasie - the least.
7. There is a big range in the assessment of the degree of pollution of provinces [ $I(Q_i) \cong 4,91$ ]. This means that environmental pollution in Silesia is almost five times higher compared to Podlasie.
8. For the proper recognition of the phenomenon of environmental pollution in Poland, it has been postulated to conduct research at the lower level of the administrative division of the country, namely at the level of poviats. This is related to the accurate distribution of financial resources allocated to the pro-environmental activities.

## References/ Literatura:

1. Adamowicz, M. (2014). Europejska koncepcja biogospodarki i jej przełożenie na działania praktyczne. *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 7(4), 5-21.
2. Chyłek, E.K. (2014). Strategiczny program biostrateg i jego znaczenie do realizacji celów biogospodarki. *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 7(4), 43-53.
3. Guzal-Dec, D., Siedlecka, A., Zwolińska-Ligaj, M. (2016). Sprawozdanie z Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Gospodarowanie na obszarach przyrodniczo cennych”. *Economic and Regional Studies*, 10(1), 125-129.
4. Hellwig, Z. (1968). Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr. *Przegląd Statystyczny*, 4, 307-326.
5. Kukuła, K. (2000). *Metoda unitaryzacji zerowanej*. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
6. Kukuła, K. (2015). Equipment with some appliances and facilities of environmental protection in villages (space study - 2013). *Acta Scientiarum Polonorum - Oeconomia*, 14(2), 75-83.
7. Kukuła, K. (2016). Municipal waste management in Poland in the light of Multi - Dimensional Comparative Analysis. *Acta Scientiarum Polonorum - Oeconomia*, 15(4), 93-103. <https://doi.org/10.22630/ASPE.2017.16.4.48>
8. Kukuła, K., Luty, L. (2015). Propozycja procedury wspomagającej wybór metody porządkowania liniowego. *Przegląd Statystyczny*, LXII(2), 219 -231.

## Wnioski

1. Racjonalne działania proekologiczne winny być poprzedzone precyzyjną diagnozą obecnego stanu zanieczyszczenia środowiska w ujęciu przestrzennym.
2. Stan zanieczyszczenia środowiska jest zjawiskiem złożonym, możliwym do opisania prawidłowo dobranymi zmiennymi diagnostycznymi. Autorem pierwszej, pionierskiej pracy w Polsce ukazującej zastosowania wielowymiarowej analizy statystycznej był nieżyjący dziś profesor Zdzisław Hellwig (1968).
3. Wybrane zmienne diagnostyczne wpływające na ocenę poziomu zanieczyszczeń charakteryzuje znaczny stopień zróżnicowania w układzie przestrzennym województw.
4. Klasyfikacja województw w oparciu o zastosowaną procedurę daje relatywny obraz zanieczyszczeń środowiska, w którym nie ma odniesień do obowiązujących norm emisyjnych. Przyjęto, że każde zanieczyszczenie środowiska stanowi jego zagrożenie. Mówi się o wysokim lub niskim stopniu zanieczyszczenia województwa względem pozostałych.
5. Najmocniejsze zróżnicowanie przestrzenne wykazują zmienne:  $X_3$ ,  $X_4$  i  $X_6$ . Są to odpowiednio: ścieki przemysłowe i komunalne odprowadzane do wód powierzchniowych i do ziemi, emisje pyłów z zakładów szczególnie uciążliwych dla środowiska oraz masa odpadów wytworzona w ciągu roku.
6. Najbardziej zanieczyszczającym środowisko obiektem jest województwo śląskie, najmniej – województwo podlaskie.
7. Istnieje duża rozpiętość w ocenach stopnia zanieczyszczenia województw [ $I(Q_i) \cong 4,91$ ]. Oznacza to, że województwo śląskie przewyższa pod względem poziomu zanieczyszczeń środowiska prawie pięciokrotnie województwo podlaskie.
8. Dla prawidłowego rozpoznania zjawiska zanieczyszczeń środowiska w Polsce postuluje się prowadzenie badań na niższym szczeblu podziału administracyjnego kraju a mianowicie na poziomie powiatów. Jest to związane z trafną dystrybucją środków finansowych, przeznaczonych na działania proekologiczne.

9. Kukuła, K., Luty, L. (2018). O wyborze metody porządkowania liniowego do oceny gospodarki odpadami w Polsce w ujęciu przestrzennym. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 18(2), 183-192. <https://doi.org/10.22630/PRS.2018.18.2.46>
10. Pieniążek, A. (2016). Korytarze ekologiczne – aktywność organizacji pozarządowych. *Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 10(2), 50-63.
11. Wielewska, I., Kacprzak, M. (2016). Directions of undertaking ecological innovations in agribusiness companies. *Acta Scientiarum Polonorum – Oeconomia*, 15(4), 183-193.
12. Wiatrak, A.P. (2017). Potrzeby i kierunki wspierania innowacyjności w agrobiznesie. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 17(3), 286-297.