

# Przestrzenne zróżnicowanie stanu ochrony środowiska w Polsce w kontekście bezpieczeństwa ekologicznego

Iwona Bąk<sup>a</sup>, Katarzyna Wawrzyniak<sup>b</sup>

**Streszczenie.** Normy dotyczące ochrony środowiska odgrywają kluczową rolę w ustaleniu akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa ekologicznego. Celem badania omawianego w artykule jest identyfikacja przestrzennego zróżnicowania Polski na poziomie województw pod względem spełniania przyjętych norm środowiskowych. Badano stan w 2022 r. Wartości norm określono na podstawie analizy rozkładów wskaźników uwzględnionych w badaniu. Dane do obliczeń zaczerpnięto z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego. Do oceny stopnia spełniania norm w województwach wykorzystano klasyczną analizę korespondencji na podstawie danych przedstawionych w złożonej macierzy znaczników oraz metodę Warda. Uzyskane wyniki pozwoliły na wskazanie słabych i mocnych stron województw w zakresie ochrony środowiska. Najwyższym stopniem spełniania norm środowiskowych cechowała się grupa złożona z województw lubelskiego, pomorskiego i wielkopolskiego (50% wspólnych wskaźników zgodnych z normą). Na przeciwnym biegunie znajdowały się województwa opolskie i śląskie, w których nie zaobserwowano żadnych wspólnych wskaźników zgodnych z normą.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo ekologiczne, ochrona środowiska, województwa, klasyczna analiza korespondencji, metoda Warda

**JEL:** C38, P18, Q56, R11

## Differences in the degree of environmental protection across Poland as seen in the context of ecological safety

**Abstract.** The standards of environmental protection play a key role in determining the acceptable level of ecological safety. The aim of the study discussed in the article is to identify the varying degree to which voivodships in Poland adhere to the adopted environmental standards. The research was performed in 2022. The values of the environmental protection standards were determined on the basis of the analysis of the distributions of the indicators taken into account in the study. Data for the calculations were taken from the Local Data Bank

<sup>a</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Ekonomiczny, Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii, Polska / West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Economics, Department of Applied Mathematics in Economics, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8959-7269>. Autor korespondencyjny / Corresponding author, e-mail: [iwona.bak@zut.edu.pl](mailto:iwona.bak@zut.edu.pl).

<sup>b</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Ekonomiczny, Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii, Polska / West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Economics, Department of Applied Mathematics in Economics, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4161-3877>. E-mail: [katarzyna.wawrzyniak@zut.edu.pl](mailto:katarzyna.wawrzyniak@zut.edu.pl).

of Statistics Poland. The classical correspondence analysis performed on the basis of data presented in a binary matrix of indicators and Ward's method was used to assess the degree of the implementation of the standards by the Polish voivodships. The obtained results made it possible to indicate the weaknesses and strengths of the voivodships in the field of environmental protection. Lubelskie, Pomorskie and Wielkopolskie voivodships met the standards to the largest degree (50% of the common indicators adhering to the standards), while Opolskie and Śląskie performed worst, with no common indicators adhering to the standards.

**Keywords:** ecological safety, environmental protection, voivodships, classical correspondence analysis, Ward's method

## 1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo to nadrzędna wartość zarówno dla społeczeństwa, jak i poszczególnych jednostek. Rozpatruje się je w różnych aspektach, w tym w wymiarze ekologicznym. Klęski żywiołowe i katastrofy wywołane działalnością człowieka stanowią poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa państwa, dlatego wzrasta znaczenie środowiska naturalnego, a bezpieczeństwo ekologiczne (nazywane również środowiskowym) jest współcześnie uznawane za ważny element bezpieczeństwa narodowego (Ciszek, 2017).

Problematykę bezpieczeństwa ekologicznego reguluje Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r., która zawiera przepisy odnoszące się do zagadnień związanych z ochroną środowiska i do zadań administracji publicznej w tym zakresie. Ponadto obowiązuje wiele dokumentów dotyczących środowiska naturalnego, m.in.: Ustawa z 16 kwietnia 2024 r. o ochronie przyrody, Ustawa z 21 sierpnia 1997 r. o ochronie zwierząt, Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin, Rozporządzenie Ministra Środowiska z 14 sierpnia 2001 r. w sprawie określenia rodzajów siedlisk przyrodniczych podlegających ochronie, Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z 28 lipca 2024 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2025, Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach i Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 r. w sprawie określenia rodzajów inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji.

Kluczową rolę w ustaleniu akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa ekologicznego odgrywają odpowiednio określone normy. W polityce dotyczącej ochrony środowiska stały się one podstawowymi narzędziami w różnych obszarach regulacji (Goulden i in., 2019) i są istotnym elementem przepisów krajowych i ponadnarodowych (ustawodawstwo krajowe i dyrektywy unijne). Norouzi i Ataei (2021) uznają je za jeden z najważniejszych podzbiorów regulacji społecznych. W Unii Europejskiej – w ramach spójnej polityki klimatycznej – od wielu lat podejmuje się zbiorowe działania na rzecz ochrony

środowiska (Buła i Foltyn-Zarychta, 2023; Ostrowski, 2022). Systematycznie zaostrzane są przepisy obowiązujące we wszystkich krajach członkowskich (Filipiak i Wyszowska, 2022; Tudor i Sova, 2022), co ma doprowadzić do maksymalizacji wykorzystania odnawialnych źródeł energii i stanowić wsparcie dla gospodarki o obiegu zamkniętym. Wdrożenie tego modelu powinno skutkować osiągnięciem zerowej emisji dwutlenku węgla we wszystkich gospodarkach UE do 2050 r. (Jonek-Kowalska, 2023). Warto też zaznaczyć, że surowe normy środowiskowe pobudzają rozwój innowacji i działalność gospodarczą (Ożóg i Puławska, 2009).

Restrykcyjne przepisy środowiskowe obowiązują także Polskę jako kraj członkowski UE, którego powinnością jest zachowanie unikatowych walorów krajobrazowych dla przyszłych pokoleń. Przedmiotem regulacji środowiskowych staje się coraz więcej zagadnień o ogromnym znaczeniu nie tylko gospodarczym, lecz także prozdrowotnym. Wypełnienie luki między tym, co postanowiono, a tym, co faktycznie zostało wdrożone, ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia obywatelom bezpieczeństwa ekologicznego, a także dla zachowania równych warunków działania podmiotów gospodarczych (Bąk i in., 2024). Skuteczność unijnego prawa dotyczącego ochrony środowiska zależy od jego wdrożenia w państwach członkowskich na szczeblu regionalnym i lokalnym.

W literaturze poświęconej powyższym zagadnieniom dominują kwestie dotyczące stopnia wdrożenia norm środowiskowych przyjętych w UE w skali kraju (Alberton, 2012; Bąk i in., 2024; Mazur-Wierzbicka, 2023; de Sadeleer, 2023). Znacznie mniej badaczy dokonuje tego typu analiz na szczeblu regionalnym, a niniejszy artykuł przyczynia się do wypełnienia tej luki.

Celem badania omawianego w artykule jest identyfikacja przestrzennego zróżnicowania Polski na poziomie województw pod względem spełniania przyjętych norm środowiskowych. Zasadnicze znaczenie w badaniu miał wybór wskaźników charakteryzujących stan ochrony środowiska w województwach, a następnie wyznaczenie dla nich wartości docelowych, czyli norm. Wartości tych norm określono na podstawie analizy rozkładów wskaźników.

Postawiono następujące pytania badawcze:

1. Jak bardzo województwa różnią się pod względem liczby wskaźników zgodnych z przyjętą normą środowiskową?
2. Które ze wskaźników są zgodne z normą środowiskową w największej liczbie województw, a które nie spełniają przyjętej normy w żadnym województwie?
3. Które województwa są do siebie podobne pod względem słabych i mocnych stron w zakresie budowy bezpieczeństwa ekologicznego?

## 2. Bezpieczeństwo ekologiczne jako podstawa zrównoważonego rozwoju

Bezpieczeństwo ekologiczne stanowi podstawę zrównoważonego rozwoju. To warunek konieczny zbudowania harmonijnego i przyjaznego środowisku społeczeństwa (Song i in., 2013). Uznaje się je współcześnie za jeden z najważniejszych elementów niemilitarnej odmiany bezpieczeństwa i definiuje jako „trwały stan zdolny do przeciwdziałania negatywnym skutkom zagrożeń naruszających równowagę w środowisku przyrodniczym” (Ciszek, 2017, s. 14). Co ważne, bezpieczeństwo ekologiczne odnosi się zarówno do zdrowia, jak i integralności systemu (Wen i Hou, 2021). Z perspektywy globalnego podejścia do bezpieczeństwa każdy aspekt, który zagraża przetrwaniu planety i jej naturze, powinien być postrzegany jako zagrożenie bezpieczeństwa (Kalda i in., 2023).

Globalna degradacja środowiska i szybki wzrost gospodarczy sprawiły, że relacja pomiędzy bezpieczeństwem ekologicznym a rozwojem gospodarczym stała się sprawą najwyższej wagi (Dmitrieva i in., 2020; Sun i in., 2020). Wraz ze wzrostem liczby ludności i rozwojem gospodarczym problemy ekologiczne zaczynają zagrażać zrównoważonemu rozwojowi społeczeństwa, a osiągnięcie takiego rozwoju, z jednoczesnym uwzględnieniem aspektu ekologicznego i społeczno-gospodarczego, staje się celem w skali globalnej (Guo i in., 2024). W większości krajów zmiany poziomu bezpieczeństwa ekologicznego korelują ze zmianami wartości wskaźników rozwoju społeczno-gospodarczego.

Badania Mazur-Wierzbickiej (2023) potwierdzają tezę, że poziom zaangażowania członków UE w działania na rzecz ochrony środowiska zależy od stopnia rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów. Brzoska i Lewandowska (2013) zauważają, że w charakteryzujących się wzrostem gospodarczym krajach rozwijających się nie odnotowano wysokiego poziomu indeksu zrównoważenia środowiska, ponieważ znacznie większy nacisk kładzie się tam na rozwój gospodarczy niż na ochronę środowiska naturalnego. Natomiast w krajach wysoko rozwiniętych, gdzie świadomość ekologiczna jest większa, wzrost gospodarczy współgra z ideą zrównoważonego rozwoju.

Badania Demidovej i in. (2021) przeprowadzone w krajach należących do Euroazjatyckiej Unii Gospodarczej i Wspólnoty Niepodległych Państw, zrzeszających większość byłych republik radzieckich oraz 85 regionów Rosji, pokazują, że w większości badanych podmiotów zachodzi związek pomiędzy poziomem rozwoju społeczno-gospodarczego a integralnym wskaźnikiem bezpieczeństwa ekologicznego. Przykładowo, w 31 regionach wchodzących w skład Federacji Rosyjskiej spadkowi poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego towarzyszył spadek poziomu bezpieczeństwa ekologicznego, a w 24 regionach wyższy stopień rozwoju społeczno-gospodarczego przekładał się na większe bezpieczeństwo ekologiczne.

Pilarczyk i Pilarczyk (2022) zwracają uwagę, że środowisko naturalne to dobro wspólne. Z jednej strony każdy ma prawo z niego korzystać, ale z drugiej – może dojść

do nałożenia pewnych obowiązków, obciążeń i ograniczeń swobód obywatelskich. Zdarza się, że działania zmierzające do ochrony środowiska naturalnego wydają się czynnikiem blokującym rozwój gospodarczy, mogą one jednak stanowić impuls do rozwoju nowych technologii. Według ekspertów Organizacji Narodów Zjednoczonych straty spowodowane zanieczyszczeniem środowiska są wyższe niż koszty środków mających na celu zwalczanie tego zanieczyszczenia.

Badania nad bezpieczeństwem ekologicznym stanowią kluczowy element zrównoważonego rozwoju ekologicznego (Wen i Hou, 2021). Choć rozwój ten jest niezbędny do poprawy jakości życia i utrzymania tego stanu, a w dłuższej perspektywie powinien prowadzić do ograniczenia destrukcyjnego wpływu człowieka na środowisko, wyrażane są różne poglądy na temat mechanizmów i metod, które można zastosować w tym procesie. Pojawia się również obawa, czy środki inwestycyjne przeznaczone na konkretne projekty zostaną właściwie wykorzystane (Famulska i in., 2022).

Odkąd w latach 70. XX w. przyjęto pierwsze ważne regulacje dotyczące ochrony środowiska, toczy się debata na temat ich potencjalnego wpływu na rozwój i konkurencyjność poszczególnych krajów oraz regionów, które mają obowiązek dostosować się do tych zasad. Decydenci obawiają się, że wyraźne asymetrie w rygorystycznych politykach środowiskowych mogą przesunąć moce produkcyjne powodujące duże zanieczyszczenie w kierunku krajów lub regionów, w których obowiązują mniej surowe przepisy. Dechezleprêtre i Sato (2017) twierdzą, że rozbieżności w przepisach dotyczących ochrony środowiska w różnych krajach powodują istotne różnice w kosztach ograniczania zanieczyszczeń. Autorzy, powołując się na badania Pasurki (2008) przeprowadzone w dziewięciu krajach Europy, Ameryki Północnej i Azji, podają, że w 2000 r. udział nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na ograniczanie zanieczyszczeń wahał się od 1% na Tajwanie do 5% w Kanadzie.

Regulacje środowiskowe stanowią instytucjonalną gwarancję osiągnięcia ekologicznego i zrównoważonego rozwoju gospodarczego, a skutki wdrażania strategii politycznych w tym względzie to przedmiot zainteresowania całego społeczeństwa (Zhu i in., 2022). Unia Europejska jest światowym liderem w walce ze zmianami klimatycznymi i wyznacza swoim członkom ambitne cele dotyczące ograniczania zanieczyszczeń (European Parliament, 2024). Obciążenia te są większe dla bardziej wrażliwych gospodarek Europy Środkowo-Wschodniej, które muszą spełnić rygorystyczne normy (np. w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych i zależności od paliw kopalnych), jednocześnie ponosząc poważne konsekwencje nieprzestrzegania przepisów (Tudor i Sova, 2022).

Publiczna debata na temat ochrony środowiska często skupia się na kosztach działań ograniczających negatywny wpływ człowieka na środowisko (Famulska i in., 2022). Tradycyjnie przyjmuje się, że zaostrzenie rygorów środowiskowych może zmniejszyć konkurencyjność gospodarek uczestniczących w wymianie międzynarodowej. Wśród

przyczyn tego zjawiska wymienia się m.in.: zmniejszenie międzynarodowego znaczenia sektora dotkniętego regulacjami, przenoszenie działalności gospodarczej do krajów o niższych standardach środowiskowych (i związany z tym wzrost bezrobocia) i konieczność przeprowadzenia restrukturyzacji gospodarki wynikającą z odchodzenia od działalności gospodarczej opartej na zasobach środowiskowych (Kudłak, 2010). Boguski (2012) zwraca uwagę, że środowisko przyrodnicze może być hamulcem rozwoju inwestycji infrastrukturalnych i przemysłowych, ale także miejscem uprawiania turystyki pieszej, rowerowej, konnej i wodnej.

W literaturze wyrażane są dwa odmienne poglądy w kwestii wpływu polityki środowiskowej na wyniki firm konkurujących na tym samym rynku. Pierwszy to hipoteza, że rygorystyczna polityka środowiskowa zwiększa koszty przestrzegania przepisów i z czasem spowoduje przeniesienie produkcji powodującej powstawanie zanieczyszczeń do regionów, w których koszty ich redukcji są niskie, tym samym tworząc raje dla zanieczyszczeń (Levinson i Scott Taylor, 2008). Drugi pogląd (Porter i van der Linde, 1995) zakłada, że rygorystyczna polityka w zakresie ochrony środowiska może mieć pozytywny wpływ na konkurencyjność firm, ponieważ sprzyja ulepszeniom przynoszącym obniżenie kosztów, a także innowacjom, które mogą pomóc firmom osiągnąć międzynarodową pozycję lidera technologicznego i zwiększyć ich udział w rynku (Chang i in., 2021; Dechezleprêtre i Sato, 2017; Mu i in., 2022).

Postępująca urbanizacja doprowadziła do powstania wielu problemów ekologicznych i środowiskowych, takich jak erozja gleby, niedobór zasobów wodnych i niszczenie roślinności (Ding i in., 2022). Ochrona środowiska i klimatu to jeden z najbardziej eksponowanych w literaturze kierunków rozwoju inteligentnych miast, który często pozostaje jednak tylko postulatem naukowym lub strategicznym zapisem w dokumentach miejskich (Jonek-Kowska, 2023).

Działania zapewniające bezpieczeństwo ekologiczne powinny być skoncentrowane na: zbieraniu informacji jakościowych i ilościowych, diagnozowaniu sytuacji na bieżąco, a także monitorowaniu postępów. Analiza odpowiednich wskaźników pozwala spojrzeć na problemy ekologiczne i zmiany, jakie zachodzą w środowisku, z perspektywy zrównoważonego rozwoju.

### 3. Metoda badania

Badanie regionalnego zróżnicowania Polski pod względem stanu ochrony środowiska przebiegało w następujących etapach:

- wybór wskaźników charakteryzujących stan ochrony środowiska w województwach;
- wyznaczenie wartości docelowych (norm) dla poszczególnych wskaźników;
- konstrukcja zmiennych binarnych (zero-jedynkowych) dla wskaźników;

- budowa złożonej (binarnej) macierzy znaczników;
- ocena poszczególnych województw pod względem liczby wskaźników zgodnych z wartością docelową;
- ocena poszczególnych wskaźników ze względu na liczbę województw, w których dany wskaźnik okazał się zgodny z normą;
- ustalenie wzajemnych powiązań pomiędzy poszczególnymi województwami a wariantami zmiennych binarnych za pomocą klasycznej analizy korespondencji;
- pogrupowanie województw i wariantów zmiennych binarnych z wykorzystaniem metody Warda;
- scharakteryzowanie wydzielonych grup, czyli wskazanie słabych i mocnych stron województw w zakresie stopnia spełniania przyjętych norm (osiągnięcia wartości docelowych dla poszczególnych wskaźników).

Wybór wskaźników charakteryzujących stan ochrony środowiska w poszczególnych województwach w 2022 r. poprzedziło zapoznanie się ze strategiami rozwoju województw do 2030 r. (dalej: strategie). Okazało się, że na poziomie województw brakuje informacji o wielu wskaźnikach, które są dostępne na poziomie kraju. Co więcej, żaden ze wskaźników dotyczących ochrony środowiska nie występował we wszystkich strategiach. Najczęściej powtarzały się tylko dwa:

- udział produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej ogółem (15 województw);
- udział odpadów komunalnych zebranych selektywnie w ilości odpadów komunalnych ogółem (10 województw).

W związku z tym zdecydowano o uzupełnieniu analizowanej bazy danych o inne wskaźniki. Potrzebne informacje zaczerpnięto z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego. Pierwotnie zestaw liczył 17 zmiennych, ale na podstawie analizy powiązań pomiędzy nimi oraz stopnia zróżnicowania ich wartości w badanej zbiorowości (Młodak, 2006) zredukowano go do 10 wskaźników:

- $X_1$  – roczna emisja zanieczyszczeń gazowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa w t;
- $X_2$  – roczna emisja zanieczyszczeń pyłowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa w t;
- $X_3$  – udział gazowych zanieczyszczeń powietrza (bez dwutlenku węgla) zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w zakładach szczególnie uciążliwych w zanieczyszczeniach wytworzonych ogółem w %;
- $X_4$  – udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków w liczbie ludności ogółem w %;
- $X_5$  – ilość oczyszczanych ścieków komunalnych na mieszkańca w m<sup>3</sup>;

- $X_6$  – pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa w dam<sup>3</sup>;
- $X_7$  – udział gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa w %;
- $X_8$  – udział obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa w %;
- $X_9$  – udział odpadów zebranych selektywnie w odpadach wytworzonych ogółem w %;
- $X_{10}$  – udział produkcji energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem w %.

Następnie wyznaczono wartości docelowe dla poszczególnych wskaźników. W strategiach niektórych województw zostały podane wartości docelowe, ale w innych określono tylko tendencje rozwojowe i stwierdzono, że wartość wskaźnika powinna być na poziomie przynajmniej (stymulanta) lub co najwyżej (destymulanta) średniej krajowej. Z tego powodu w badaniu zdecydowano się na określenie wartości normatywnych na podstawie analizy rozkładów wskaźników w zbiorowości województw. Przyjęto założenie, że w przypadku rozkładów o niewielkim zróżnicowaniu norma zostanie ustalona na poziomie średniej arytmetycznej, a w przypadku rozkładów o dużym zróżnicowaniu – na poziomie mediany.

Kolejny krok polegał na zbudowaniu złożonej (binarnej) macierzy znaczników, stanowiącej punkt wyjścia do zastosowania klasycznej analizy korespondencji dla małych prób (Hoffman i Franke, 1986; Stanimir, 2005; Wawrzyniak, 2012). Macierz znaczników utworzono w taki sposób, że każdy wskaźnik ( $X_j$ ) przekształcono w dwie zmienne zero-jedynkowe  $X_{jp}$  i  $X_{jn}$ , którym wartości 1 lub 0 przyporządkowano według zasady:

$$x_{ijp} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } x_{ij} \text{ jest zgodne z normą,} \\ 0 & \text{gdy } x_{ij} \text{ jest niezgodne z normą,} \end{cases} \quad (1)$$

$$x_{ijn} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } x_{ijp} = 0, \\ 0 & \text{gdy } x_{ijp} = 1, \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$x_{ijp}$  – wartość zmiennej  $X_{jp}$  w  $i$ -tym województwie,

$x_{ijn}$  – wartość zmiennej  $X_{jn}$  w  $i$ -tym województwie,

$x_{ij}$  – wartość  $j$ -ego wskaźnika w  $i$ -tym województwie,

$i = 1, 2, \dots, I$ ,

$j = 1, 2, \dots, J$ ,

$I$  – liczba województw,

$J$  – liczba wskaźników.

Z wzorów (1) i (2) wynika, że rzeczywiste wartości każdego ze wskaźników zostały zastąpione przez dwie zmienne określające poziom wskaźnika w odniesieniu do przyjętej normy, z których jedna oznacza poziom pozytywny ( $x_{ijp}$ ), a druga – negatywny ( $x_{ijn}$ ). W związku z podwojeniem liczby analizowanych zmiennych złożoną macierz znaczników można potraktować jako tablicę kontyngencji o wymiarach  $I \times 2J$ , gdzie  $I = 16$  (województwa), a  $2J = 20$  (podwojona liczba wskaźników). Tak przygotowana tablica może zostać poddana klasycznej analizie korespondencji (Blasius, 2001).

Istota analizy korespondencji jest szczegółowo omówiona m.in. w pracach Greenacre'a (1984, 2007), Hoffman i Frankego (1986) oraz Stanimir (2005), dlatego opis metody zastosowanej w omawianym badaniu został skrócony.

Punktem wyjścia jest złożona macierz znaczników utworzona zgodnie z wzorami (1) i (2), czyli tablica kontyngencji  $\mathbf{N}$  o wymiarach  $I \times 2J$  o dodatnich sumach wierszy i kolumn. Na jej podstawie zostaje wyznaczona macierz korespondencji  $\mathbf{P}$  według wzoru:

$$\mathbf{P} = \frac{1}{n} \mathbf{N} = \left[ \frac{n_{ij}}{n} \right]_{i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J} = [p_{ij}]_{i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J}, \quad (3)$$

gdzie  $n = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{2J} n_{ij}$ .

Następnie tworzy się dwie macierze diagonalne ( $\mathbf{D}_r$ ,  $\mathbf{D}_c$ ), w których na głównej przekątnej znajdują się odpowiednio elementy średniego profilu wierszowego i średniego profilu kolumnowego. Średni profil wierszowy (wektor  $\mathbf{r}$  – centrum kolumnowe) stanowi punkt odniesienia przy ocenie położenia poszczególnych profili kolumnowych, a średni profil kolumnowy (wektor  $\mathbf{c}$  – centrum wierszowe) – przy ocenie położenia poszczególnych profili wierszowych. Elementy wektorów  $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_I)$  i  $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_J)$  są wyznaczane według wzorów:

$$r_i = \left[ \frac{n_{i.}}{n} \right] = [p_{i.}], \quad (4)$$

$$c_j = \left[ \frac{n_{.j}}{n} \right] = [p_{.j}], \quad (5)$$

gdzie  $i = 1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, J$ .

Na podstawie macierzy  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{D}_r$  i  $\mathbf{D}_c$  zostaje wyznaczona macierz ważonych odchyleń profili od centrum wierszowego i kolumnowego:

$$\mathbf{A} = \mathbf{D}_r^{-\frac{1}{2}} \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{r} \cdot \mathbf{c}^T) \cdot \mathbf{D}_c^{-\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Dekompozycja macierzy **A** według wartości osobliwych umożliwia wyznaczenie współrzędnych punktów reprezentujących poszczególne wiersze i kolumny, a tym samym ich jednoczesne przedstawienie we wspólnej przestrzeni rzutowania, z zachowaniem powiązań pomiędzy nimi z rzeczywistej przestrzeni rzutowania, której wymiar dla danych w tablicy kontyngencji z badania wyznacza się ze wzoru:

$$K = \min(I - 1; 2J - 1), \quad (7)$$

gdzie:

$K$  – wymiar rzeczywistej przestrzeni rzutowania,

$I$  – liczba wierszy tablicy kontyngencji,

$2J$  – liczba kolumn tablicy kontyngencji.

Jakość odwzorowania powiązań pomiędzy poszczególnymi wierszami i kolumnami z rzeczywistej przestrzeni rzutowania w przestrzeni o niższym wymiarze można ocenić na podstawie udziału inercji wybranego wymiaru w inercji całkowitej:

$$\tau_{K^*} = \frac{\sum_{k=1}^{K^*} \lambda_k}{\lambda}, \quad (8)$$

gdzie:

$K^*$  – wybrany wymiar rzutowania ( $K^* \leq K$ ),

$\lambda_k$  – wartość własna  $k$ -tego wymiaru ( $k = 1, 2, \dots, K$ ),

$\lambda$  – inercja całkowita równa sumie wartości własnych wszystkich wymiarów ( $\lambda = \sum_{k=1}^K \lambda_k$ ).

Miara  $\tau_{K^*}$  jest unormowana w przedziale  $[0, 1]$ . Im jej wartość jest bliższa 1, tym lepsze odwzorowanie struktury powiązań pomiędzy poszczególnymi wierszami i kolumnami z rzeczywistej przestrzeni rzutowania w przestrzeni o wymiarze  $K^*$ . Przyjęcie zbyt wysokiego wymiaru przestrzeni rzutowania – w celu spełnienia warunku jak najlepszego odwzorowania struktury powiązań pomiędzy wierszami i kolumnami – uniemożliwia zwizualizowanie tych powiązań. Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie metody Warda<sup>1</sup>, pozwalającej na pogrupowanie wierszy i kolumn tablicy kontyngencji według wartości współrzędnych, które określają ich położenie w przestrzeni rzutowania o wymiarze wyższym niż trzy.

Przy wyborze optymalnego wymiaru przestrzeni rzutowania pomocne są zasady zaproponowane w pracy Sourial i in. (2010):

<sup>1</sup> Metoda Warda jest jedną z aglomeracyjnych metod grupowania. Znajduje zastosowanie w badaniach empirycznych w odniesieniu do klasyfikacji zarówno obiektów, jak i cech. W tej metodzie odległość między grupami definiuje się jako moduł różnicy między sumami kwadratów odległości punktów od środków grup, do których te punkty należą (Balicki, 2009; Malina, 2004; Pocięcha i in., 1988).

- numer wybranego wymiaru powinien być tuż przed łokciem na wykresie wartości własnych, przy czym łokieć odpowiada temu wymiarowi, w którym krzywa zaczyna się wyrównywać;
- udział inercji dla wybranego wymiaru w całkowitej inercji ( $\tau_{K^*}$ ) powinien być większy niż 70%;
- wymiar rzutowania należy wybrać spośród wymiarów, dla których

$$\lambda_k > \frac{1}{\min(I, 2J) - 1}. \quad (9)$$

Do obliczeń wykorzystano pakiet Statistica 13.3. Wyniki klasycznej analizy korespondencji uzyskano, stosując moduł Statystyka / Analizy wielowymiarowe / Analiza korespondencji, a wyniki grupowania metodą Warda – moduł Statystyka / Analizy wielowymiarowe / Analiza skupień.

#### 4. Wyniki badania

W tabl. 1 przedstawiono wartości wskaźników obrazujących stan ochrony środowiska w województwach w 2022 r. oraz wybrane parametry opisowe charakteryzujące ich rozkład w badanej zbiorowości. Z danych zawartych w tabl. 1 wynika, że rozkłady większości wskaźników charakteryzują się dużym zróżnicowaniem. Jedynie w przypadku trzech wskaźników ( $X_4$ ,  $X_5$  i  $X_9$ ) względna miara zróżnicowania nie przekroczyła 12%. Zgodnie z przyjętym założeniem dotyczącym wyznaczania wartości docelowych, dla tych trzech wskaźników norma została ustalona na poziomie średniej arytmetycznej, a dla pozostałych siedmiu wskaźników – na poziomie mediany.

**Tabl. 1.** Wartości wskaźników obrazujących stan ochrony środowiska w województwach w 2022 r. oraz wybrane parametry opisowe charakteryzujące rozkład wskaźników

| Wyszczególnienie         | $X_1$   | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| <b>Województwa</b>       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
| Dolnośląskie .....       | 804,51  | 0,07  | 96,2  | 82,7  | 43,6  | 7,8   | 0,318 | 18,6  | 37,2  | 10,3     |
| Kujawsko-pomorskie ..... | 529,04  | 0,10  | 58,4  | 73,9  | 36,6  | 0,9   | 0,228 | 32,2  | 36,2  | 54,6     |
| Lubelskie .....          | 230,38  | 0,04  | 90,8  | 58,6  | 28,3  | 0,4   | 0,125 | 22,7  | 48,5  | 51,6     |
| Lubuskie .....           | 146,79  | 0,04  | 70,4  | 78,9  | 35,7  | 6,7   | 0,093 | 37,5  | 36,2  | 35,7     |
| Łódzkie .....            | 2240,50 | 0,08  | 91,2  | 71,1  | 38,0  | 1,1   | 0,274 | 19,5  | 39,6  | 6,3      |
| Małopolskie .....        | 466,23  | 0,07  | 60,1  | 67,9  | 35,8  | 0,6   | 0,134 | 53,1  | 41,5  | 20,6     |
| Mazowieckie .....        | 937,53  | 0,05  | 83,0  | 74,2  | 43,3  | 1,7   | 0,098 | 29,7  | 38,1  | 7,3      |
| Opolskie .....           | 1651,28 | 0,11  | 74,8  | 79,7  | 35,6  | 6,2   | 0,281 | 27,6  | 42,4  | 5,6      |

**Tabl. 1.** Wartości wskaźników obrazujących stan ochrony środowiska w województwach w 2022 r. oraz wybrane parametry opisowe charakteryzujące rozkład wskaźników (dok.)

| Wyszczególnienie                               | $X_1$   | $X_2$ | $X_3$  | $X_4$  | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ |
|------------------------------------------------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| <b>Województwa (dok.)</b>                      |         |       |        |        |       |       |       |       |       |          |
| Podkarpackie .....                             | 104,81  | 0,05  | 55,1   | 78,2   | 32,2  | 0,3   | 0,104 | 44,9  | 39,9  | 49,5     |
| Podlaskie .....                                | 95,24   | 0,02  | 39,0   | 69,6   | 32,3  | 0,2   | 0,133 | 31,6  | 40,1  | 80,3     |
| Pomorskie .....                                | 353,76  | 0,03  | 92,5   | 84,6   | 39,5  | 0,9   | 0,158 | 33,0  | 43,0  | 63,9     |
| Śląskie .....                                  | 2636,05 | 0,29  | 29,5   | 83,1   | 36,9  | 1,1   | 0,411 | 22,1  | 44,5  | 9,5      |
| Świętokrzyskie .....                           | 1287,28 | 0,10  | 57,8   | 68,2   | 31,8  | 0,7   | 0,329 | 64,9  | 33,6  | 20,8     |
| Warmińsko-mazurskie ...                        | 66,63   | 0,03  | 4,3    | 78,4   | 35,9  | 5,3   | 0,191 | 46,7  | 38,0  | 95,6     |
| Wielkopolskie .....                            | 269,66  | 0,05  | 64,0   | 74,8   | 38,5  | 6,5   | 0,339 | 29,6  | 39,8  | 52,2     |
| Zachodniopomorskie ....                        | 259,02  | 0,06  | 70,7   | 84,5   | 43,8  | 2,9   | 0,124 | 21,8  | 35,1  | 62,6     |
| <b>Wybrane parametry opisowe</b>               |         |       |        |        |       |       |       |       |       |          |
| Średnia arytmetyczna ....                      | 754,92  | 0,07  | 64,9   | 75,5   | 36,7  | 2,7   | 0,210 | 33,5  | 39,6  | 39,2     |
| Mediana .....                                  | 410,00  | 0,06  | 67,2   | 76,5   | 36,25 | 1,1   | 0,170 | 30,65 | 39,7  | 42,6     |
| Klasyczny współczynnik<br>zmienności w % ..... | 102,7   | 82,6  | 37,4   | 9,2    | 11,6  | 98,6  | 47,8  | 37,8  | 9,3   | 70,9     |
| Klasyczna miara asymetrii                      | 1,236   | 2,598 | -0,835 | -0,661 | 0,065 | 0,758 | 0,500 | 0,983 | 0,602 | 0,346    |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z BDL.

W tabl. 2 zamieszczono złożoną macierz znaczników. Z uwagi na to, że wskaźniki  $X_1$ ,  $X_2$  i  $X_7$  są destymulantami (im mniejsza jest ich wartość, tym korzystniejsza sytuacja), wartość 1 przypisano zmiennej  $X_{jp}$  dla tego województwa, w którym wartość wymienionych wskaźników nie przekroczyła wartości docelowej. W przypadku pozostałych wskaźników, które są stymulantami (im większa jest ich wartość, tym korzystniejsza sytuacja), wartość 1 przypisano zmiennej  $X_{jp}$  dla tego województwa, w którym wartości wskaźników były przynajmniej równe normie.

**Tabl. 2.** Złożona (binarna) macierz znaczników

| Województwa             | $X_{1p}$ | $X_{1n}$ | $X_{2p}$ | $X_{2n}$ | $X_{3p}$ | $X_{3n}$ | $X_{4p}$ | $X_{4n}$ | $X_{5p}$ | $X_{5n}$ | $X_{6p}$ | $X_{6n}$ | $X_{7p}$ | $X_{7n}$ | $X_{8p}$ | $X_{8n}$ | $X_{9p}$ | $X_{9n}$ | $X_{10p}$ | $X_{10n}$ |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Dolnośląskie .....      | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0         | 1         |
| Kujawsko-pomorskie .... | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1         | 0         |
| Lubelskie .....         | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1         | 0         |
| Lubuskie .....          | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0         | 1         |
| Łódzkie .....           | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0         | 1         |
| Małopolskie .....       | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0         | 1         |

**Tabl. 2.** Złożona (binarna) macierz znaczników (dok.)

| Województwa             | $X_{1p}$ | $X_{1n}$ | $X_{2p}$ | $X_{2n}$ | $X_{3p}$ | $X_{3n}$ | $X_{4p}$ | $X_{4n}$ | $X_{5p}$ | $X_{5n}$ | $X_{6p}$ | $X_{6n}$ | $X_{7p}$ | $X_{7n}$ | $X_{8p}$ | $X_{8n}$ | $X_{9p}$ | $X_{9n}$ | $X_{10p}$ | $X_{10n}$ |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Mazowieckie .....       | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0         | 1         |
| Opolskie .....          | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0         | 1         |
| Podkarpackie .....      | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1         | 0         |
| Podlaskie .....         | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1         | 0         |
| Pomorskie .....         | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1         | 0         |
| Śląskie .....           | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0         | 1         |
| Świętokrzyskie .....    | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0         | 1         |
| Warmińsko-mazurskie ... | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1         | 0         |
| Wielkopolskie .....     | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1         | 0         |
| Zachodniopomorskie .... | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1         | 0         |

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabl. 1.

Na podstawie złożonej macierzy znaczników wskazano województwa o największej i najmniejszej liczbie wskaźników, których wartość jest zgodna z przyjętą wartością docelową, oraz wskaźniki, dla których najwięcej i najmniej województw spełniło przyjęte normy (tabl. 3). Z danych zawartych w tabl. 3 wynika, że w 2022 r. najlepszą sytuacją w zakresie ochrony środowiska charakteryzowało się woj. pomorskie, w którym tylko jeden wskaźnik nie osiągnął założonej wartości docelowej ( $X_6$  – pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa). Na drugim biegunie znalazło się woj. świętokrzyskie, w którym tylko jeden wskaźnik ( $X_8$  – udział obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa) był zgodny z normą. Ogólnie można zauważyć, że w ośmiu województwach przeważały wskaźniki o wartościach zgodnych z normą, w jednym (mazowieckim) liczba wskaźników zgodnych i niezgodnych z normą była taka sama, a w siedmiu przeważały wskaźniki o wartościach niezgodnych z przyjętą wartością docelową. Najwięcej województw spełniało normę w przypadku wskaźnika  $X_6$  (pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa), a najmniej – w przypadku wskaźnika  $X_5$  (ilość oczyszczanych ścieków komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca). W przypadku pozostałych wskaźników w połowie województw wartości docelowe były spełnione, a w połowie – nie, co jest konsekwencją przyjęcia normy zgodnej z medianą.

**Tabl. 3.** Województwa i wskaźniki uporządkowane według spełniania normy

## A. RANKING WOJEWÓDZTW POD WZGLĘDEM LICZBY WSKAŹNIKÓW ZGODNYCH Z NORMĄ

| Województwa               | Liczba wskaźników |                     |
|---------------------------|-------------------|---------------------|
|                           | zgodnych z normą  | niezgodnych z normą |
| Pomorskie .....           | 9                 | 1                   |
| Lubuskie .....            | 7                 | 3                   |
| Podkarpackie .....        | 7                 | 3                   |
| Zachodniopomorskie .....  | 7                 | 3                   |
| Lubelskie .....           | 6                 | 4                   |
| Podlaskie .....           | 6                 | 4                   |
| Warmińsko-mazurskie ..... | 6                 | 4                   |
| Wielkopolskie .....       | 6                 | 4                   |
| Mazowieckie .....         | 5                 | 5                   |
| Dolnośląskie .....        | 4                 | 6                   |
| Opolskie .....            | 4                 | 6                   |
| Śląskie .....             | 4                 | 6                   |
| Łódzkie .....             | 3                 | 7                   |
| Małopolskie .....         | 3                 | 7                   |
| Kujawsko-pomorskie .....  | 2                 | 8                   |
| Świętokrzyskie .....      | 1                 | 9                   |

## B. RANKING WSKAŹNIKÓW POD WZGLĘDEM LICZBY WOJEWÓDZTW SPEŁNIAJĄCYCH NORMĘ

| Wskaźniki      | Liczba województw   |                        |
|----------------|---------------------|------------------------|
|                | spełniających normę | niespełniających normy |
| $X_6$ .....    | 9                   | 7                      |
| $X_1$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_2$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_3$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_4$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_7$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_8$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_9$ .....    | 8                   | 8                      |
| $X_{10}$ ..... | 8                   | 8                      |
| $X_5$ .....    | 7                   | 9                      |

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabl. 2.

Na podstawie złożonej macierzy znaczników wstępnie oceniono przestrzenne zróżnicowanie stanu ochrony środowiska w województwach w 2022 r., czyli wskazano, w których województwach najwięcej wskaźników było zgodnych z przyjętą wartością docelową, a w których – najmniej. Wspomniana ocena nie przyniosła jednak odpowiedzi na pytania, które wskaźniki w poszczególnych województwach wyraźnie różniły się od przyjętej normy na korzyść i na niekorzyść oraz czy między województwami występowały podobieństwa pod względem stopnia osiągnięcia wartości docelowych przez określone wskaźniki. Powyższe kwestie rozstrzygnięto, identyfikując wzajemne powiązania pomiędzy województwami a kategoriami zero-jedynkowych zmiennych przypisanych wskaźnikom charakteryzującym stan ochrony środowiska. W tym celu zastosowano klasyczną analizę korespondencji oraz metodę Warda.

W tabl. 4 przedstawiono podstawowe parametry obrazujące jakość wyników uzyskanych z wykorzystaniem klasycznej analizy korespondencji, czyli wartości osobliwe ( $\gamma_k$ ), wartości własne ( $\lambda_k$ ), stopień wyjaśnienia inercji całkowitej ( $\lambda$ ) przez wartości własne dla  $k$ -tego wymiaru ( $\lambda_k/\lambda \cdot 100\%$ ) oraz stopień wyjaśnienia inercji całkowitej przez wartości własne w  $k$ -wymiarowej przestrzeni rzutowania ( $\tau_k \cdot 100\%$ ).

**Tabl. 4.** Parametry obrazujące jakość wyników uzyskanych za pomocą klasycznej analizy korespondencji dla  $k$ -wymiarowej przestrzeni rzutowania

| $k$      | $\gamma_k$ | $\lambda_k = \gamma_k^2$ | $\frac{\lambda_k}{\lambda} \cdot 100\%$ | $\tau_k \cdot 100\%$ |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| 1 .....  | 0,586577   | 0,344072                 | 34,40723                                | 34,4072              |
| 2 .....  | 0,462599   | 0,213998                 | 21,39982                                | 55,8070              |
| 3 .....  | 0,333897   | 0,111488                 | 11,14875                                | 66,9558              |
| 4 .....  | 0,325809   | 0,106152                 | 10,61516                                | 77,5710              |
| 5 .....  | 0,295543   | 0,087346                 | 8,73455                                 | 86,3055              |
| 6 .....  | 0,233576   | 0,054558                 | 5,45579                                 | 91,7613              |
| 7 .....  | 0,208120   | 0,043314                 | 4,33139                                 | 96,0927              |
| 8 .....  | 0,153105   | 0,023441                 | 2,34412                                 | 98,4368              |
| 9 .....  | 0,100775   | 0,010156                 | 1,01556                                 | 99,4524              |
| 10 ..... | 0,074002   | 0,005476                 | 0,54763                                 | 100,0000             |
| 11 ..... | 0,000000   | 0,000000                 | 0,00000                                 | 100,0000             |
| 12 ..... | 0,000000   | 0,000000                 | 0,00000                                 | 100,0000             |
| 13 ..... | 0,000000   | 0,000000                 | 0,00000                                 | 100,0000             |
| 14 ..... | 0,000000   | 0,000000                 | 0,00000                                 | 100,0000             |
| 15 ..... | 0,000000   | 0,000000                 | 0,00000                                 | 100,0000             |

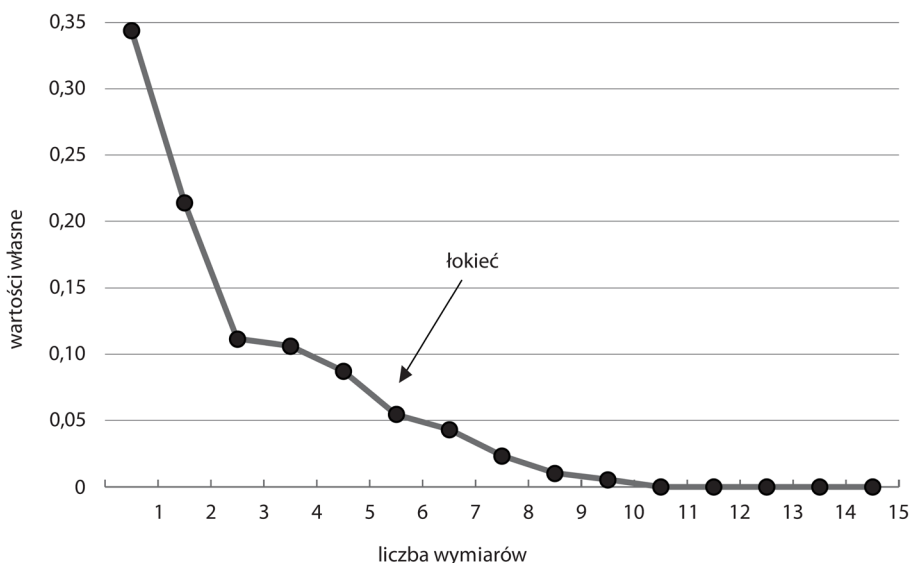
Uwaga.  $\lambda = 1,0000$ .

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zawartych w tabl. 4 wynika, że wymiar rzeczywistej przestrzeni rzutowania wynosi 15, ale pełne wyjaśnienie inercji całkowitej nastąpiło w przestrzeni dziesięciowymiarowej. Uwzględniając zasady związane z wyborem optymalnej przestrzeni rzutowania, zdecydowano się na przestrzeń pięciowymiarową, ponieważ jest to pierwszy wymiar, który spełnia równocześnie trzy zasady, czyli:

- na wykresie wartości własnych (wykr. 1) wymiar o numerze 5 znajduje się tuż przed łokciem;

**Wykr. 1.** Wykres wartości własnych



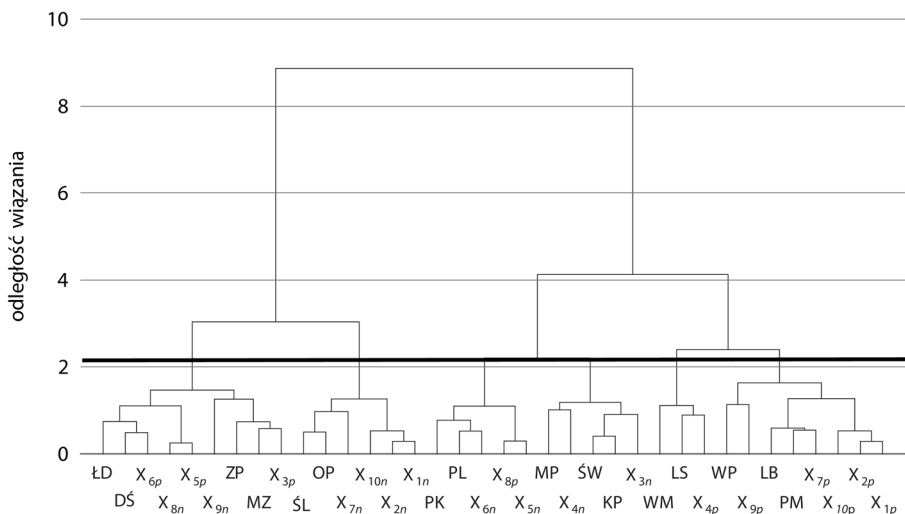
Źródło: opracowanie własne na podstawie tabl. 4.

- udział inercji dla wymiaru o numerze 5 w całkowitej inercji wynosi 86,3055%, czyli jest większy od 70%;
- wartość własna dla wymiaru o numerze 5 wynosi 0,087346, czyli jest większa od 0,066667, ponieważ zgodnie ze wzorem (9):

$$\lambda_k > \frac{1}{\min(16, 20) - 1} = \frac{1}{15} = 0,066667.$$

Aby zwizualizować wzajemne powiązania pomiędzy województwami a kategoriami zmiennych zero-jedynkowych przypisanych analizowanym wskaźnikom, zastosowano metodę Warda dla współrzędnych wymiarów opisujących położenie wierszy i kolumn złożonej macierzy znaczników w przestrzeni pięciowymiarowej. Wyniki przedstawiono na wykr. 2.

**Wykr. 2.** Grupy typologiczne (województwa i kategorie zmiennych zero-jedynkowych przypisane poszczególnym wskaźnikom) uzyskane za pomocą metody Warda



Uwaga. DŚ – dolnośląskie, KP – kujawsko-pomorskie, LB – lubelskie, LS – lubuskie, ŁD – łódzkie, MP – małopolskie, MZ – mazowieckie, OP – opolskie, PK – podkarpackie, PL – podlaskie, PM – pomorskie, ŚL – śląskie, ŚW – świętokrzyskie, WM – warmińsko-mazurskie, WP – wielkopolskie, ZP – zachodniopomorskie.

Źródło: opracowanie własne.

Linia pozioma zaznaczona na wykresie (tu: na wysokości odległości wiązania równej 2,20424) wskazuje moment przerwania łączenia klas. Do wyznaczenia tego momentu zastosowano miernik zaproponowany przez Grabińskiego, obliczany zgodnie ze wzorem (Panek, 2009; Stanisław, 2007):

$$q_i = \max_i \left\{ \frac{d_i}{d_{i-1}} \right\}, \quad (10)$$

gdzie  $d$  oznacza długość  $i$ -tego wiązania ( $i$ -tej gałęzi drzewa).

W ten sposób wydzielono sześć grup typologicznych zawierających zarówno województwa, jak i kategorie zmiennych zero-jedynkowych przypisane poszczególnym wskaźnikom charakteryzującym stan ochrony środowiska. Dzięki temu, że te kategorie zmiennych są wspólne dla danej grupy województw, a równocześnie w istotny sposób odróżniają je od średniego profilu kolumnowego, który można uznać za normę wewnętrzną, wynikającą z wartości przyjmowanych przez te zmienne w badanej zbiorowości, możliwe stało się wskazanie mocnych i słabych stron województw w zakresie ochrony środowiska.

W tabl. 5 przedstawiono grupy województw z uwzględnieniem wskaźników, które w istotny sposób pozytywnie (mocne strony) lub negatywnie (słabe strony) wyróżniały je na tle przeciętnej krajowej (klasycznej, pozycyjnej).

**Tabl. 5.** Mocne i słabe strony grup województw w zakresie ochrony środowiska w 2022 r.

| Numer grupy | Województwa                                            | Wspólne wskaźniki, dla których osiągnięto założoną normę (mocne strony)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Wspólne wskaźniki, dla których nie osiągnięto założonej normy (słabe strony)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I           | dolnośląskie, łódzkie, mazowieckie, zachodniopomorskie | <ul style="list-style-type: none"> <li>• udział gazowych zanieczyszczeń powietrza (bez dwutlenku węgla) zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w zakładach szczególnie uciążliwych w zanieczyszczeniach wytworzonych ogółem (<math>X_3</math>) kształtował się powyżej mediany</li> <li>• ilość oczyszczanych ścieków komunalnych na mieszkańca (<math>X_5</math>) przekroczyła wartość przeciętną</li> <li>• pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_6</math>) kształtowała się powyżej wartości mediany</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• udział obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa (<math>X_8</math>) kształtował się poniżej mediany</li> <li>• udział odpadów zebranych selektywnie w odpadach wytworzonych ogółem (<math>X_9</math>) nie przekraczał wartości średniej</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| II          | opolskie, śląskie                                      | .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• roczna emisja zanieczyszczeń gazowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_1</math>) kształtowała się powyżej mediany</li> <li>• roczna emisja zanieczyszczeń pyłowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_2</math>) kształtowała się powyżej mediany</li> <li>• udział gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa (<math>X_7</math>) przekraczał wartość mediany</li> <li>• udział produkcji energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem (<math>X_{10}</math>) kształtował się poniżej mediany</li> </ul> |
| III         | podlaskie, podkarpackie                                | udział obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa ( $X_8$ ) przekraczał medianę                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ilość oczyszczanych ścieków komunalnych na mieszkańca (<math>X_5</math>) kształtowała się poniżej wartości średniej</li> <li>• pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_6</math>) kształtowała się poniżej mediany</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**Tabl. 5.** Mocne i słabe strony grup województw w zakresie ochrony środowiska w 2022 r. (dok.)

| Numer grupy | Województwa                                     | Wspólne wskaźniki, dla których osiągnięto założoną normę (mocne strony)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wspólne wskaźniki, dla których nie osiągnięto założonej normy (słabe strony)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IV          | kujawsko-pomorskie, małopolskie, świętokrzyskie | .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• udział gazowych zanieczyszczeń powietrza (bez dwutlenku węgla) zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w zakładach szczególnie uciążliwych w zanieczyszczeniach wytworzonych ogółem (<math>X_3</math>) kształtował się poniżej mediany</li> <li>• udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków w liczbie ludności ogółem (<math>X_4</math>) kształtował się poniżej wartości przeciętnej</li> </ul> |
| V           | lubuskie, warmińsko-mazurskie                   | udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków w liczbie ludności ogółem ( $X_4$ ) kształtował się powyżej wartości przeciętnej                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| VI          | lubelskie, pomorskie, wielkopolskie             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• roczna emisja zanieczyszczeń gazowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_1</math>) kształtowała się poniżej mediany</li> <li>• roczna emisja zanieczyszczeń pyłowych ogółem na km<sup>2</sup> powierzchni województwa (<math>X_2</math>) kształtowała się poniżej mediany</li> <li>• udział gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa (<math>X_7</math>) kształtował się poniżej mediany</li> <li>• udział odpadów zebranych selektywnie w odpadach wytworzonych ogółem (<math>X_9</math>) kształtował się powyżej średniej</li> <li>• udział produkcji energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem (<math>X_{10}</math>) kształtował się powyżej mediany</li> </ul> | .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyk. 2.

W pierwszej grupie znalazły się cztery województwa leżące w zachodniej i środkowej Polsce, charakteryzujące się wysokim udziałem gazowych zanieczyszczeń powietrza zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w zanieczyszczeniach wytworzonych ogółem, dużymi wartościami wskaźników ilości oczyszczanych ścieków komunalnych na mieszkańca oraz pojemności obiektów małej retencji wodnej na

km<sup>2</sup> powierzchni województwa. Za niespełnienie normy odpowiadają w tej grupie dwa wskaźniki: udział obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa i udział odpadów zebranych selektywnie w odpadach ogółem.

Druga grupa obejmuje dwa województwa położone w południowo-zachodniej Polsce. W ich przypadku nie zidentyfikowano wspólnych wskaźników spełniających normę, natomiast odnotowano niekorzystne wskaźniki w zakresie: rocznej emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, udziału gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa, a także udziału energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem.

W trzeciej grupie znalazły się dwa województwa wschodniej i południowo-wschodniej Polski. Charakteryzują się one z jednej strony wysokim udziałem obszarów prawnie chronionych w powierzchni województwa, a z drugiej – małą ilością oczyszczanych ścieków komunalnych na mieszkańca oraz małą pojemnością obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa.

W czwartej grupie znalazły się trzy województwa. W ich przypadku nie odnotowano wspólnych wskaźników spełniających normę, natomiast odnotowano niski poziom gazowych zanieczyszczeń powietrza zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń, a także niski udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków w liczbie ludności ogółem.

Piąta grupa obejmuje dwa województwa, dla których zidentyfikowano jeden wspólny wskaźnik spełniający założoną normę – udział ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków w liczbie ludności ogółem. W tym przypadku nie zidentyfikowano wskaźników, które nie spełniają norm.

Do szóstej grupy należą trzy województwa, dla których również nie zidentyfikowano wspólnych wskaźników niespełniających normy. Oceniono je pozytywnie ze względu na: niską roczną emisję zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, niski udział gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wymagających rekultywacji w powierzchni województwa, wysoki udział odpadów zebranych selektywnie w odpadach ogółem, a także wysoki udział energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej ogółem.

## 5. Podsumowanie

W badaniu omawianym w artykule zidentyfikowano przestrzenne zróżnicowanie stanu ochrony środowiska w Polsce na poziomie województw. Określono stopień spełnienia przyjętych norm środowiskowych w 2022 r. Postawiono trzy pytania badawcze. Odpowiedzi na pierwsze dwa: „Jak bardzo województwa różnią się pod względem liczby wskaźników zgodnych z przyjętą normą środowiskową?” i „Które ze wskaźników są zgodne z normą środowiskową w największej liczbie województw, a które nie spełniają

przyjętej normy w żadnym województwie?” uzyskano, analizując złożoną macierz znaczników. Okazało się, że zróżnicowanie województw pod względem liczby wskaźników zgodnych z przyjętymi normami środowiskowymi było duże: w woj. pomorskim dziewięć na dziesięć wskaźników było zgodnych z normą, a w woj. świętokrzyskim tylko jeden wskaźnik okazał się zgodny z normą. W pozostałych województwach liczba wskaźników zgodnych z normą wahała się od siedmiu do dwóch. Najwięcej województw spełniało normę określającą pojemność obiektów małej retencji wodnej na km<sup>2</sup> powierzchni województwa, a najmniej – normę dotyczącą ilości oczyszczanych ścieków komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca. W przypadku pozostałych wskaźników zgodność z normą odnotowano w połowie województw.

Odpowiedź na trzecie pytanie: „Które województwa są do siebie podobne pod względem słabych i mocnych stron w zakresie budowy bezpieczeństwa ekologicznego?” uzyskano dzięki zastosowaniu analizy korespondencji z wykorzystaniem złożonej (binarnej) macierzy znaczników oraz metody Warda. Na tej podstawie wyodrębniono sześć grup typologicznych i wskazano kategorie zmiennych zero-jedynkowych wspólnych dla danej grupy województw, a równocześnie wyróżniających je na tle przeciętnej krajowej. Takie podejście pozwoliło zaobserwować prawidłowości umożliwiające wskazanie słabych i mocnych stron województw w zakresie ochrony środowiska. Z obserwacji tych wynika, że w dwóch grupach województw: piątej (lubuskie i warmińsko-mazurskie) i szóstej (lubelskie, pomorskie i wielkopolskie) nie ma wspólnych wskaźników, których wartości nie spełniają norm przyjętych w badaniu. Natomiast w grupach drugiej (opolskie i śląskie) i czwartej (kujawsko-pomorskie, małopolskie i świętokrzyskie) nie ma wskaźników, które te normy spełniają. Najlepszy wynik uzyskała grupa szósta, w której zidentyfikowano 50% wspólnych wskaźników zgodnych z normą, a najgorszy – druga, w której nie odnotowano żadnego wskaźnika zgodnego z normą. W tych województwach należy dążyć do ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, większej dbałości o stan gruntów i większego wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych.

Wyniki badania omówionego w artykule mogą okazać się użyteczne podczas sporządzania opisu stanu środowiska w województwach, który umożliwi przeprowadzenie kompleksowej diagnozy w tym zakresie. Odpowiedzialność za jakość środowiska przyrodniczego w Polsce – nie tylko w skali lokalnej, lecz także globalnej – w dużej mierze spoczywa na samorządach. Uczestnicy procesów inwestycyjnych i produkcyjnych muszą się dostosowywać do coraz surowszych wymagań w dziedzinie ekologii, a brak wiedzy o stanie środowiska nie pozwala na podejmowanie racjonalnych decyzji biznesowych. Monitorowanie stopnia spełniania norm środowiskowych – niezależnie od poziomu agregacji (np. kraje, regiony, miasta) – jest bardzo istotne, ponieważ

zwiększa szanse na zachowanie zasobów naturalnych dla przyszłych pokoleń, co jest zgodne z koncepcją zrównoważonego rozwoju.

Autorki są świadome ograniczeń dotyczących przedstawionego badania, wynikających głównie z niedostępności wskaźników obrazujących stan ochrony środowiska na poziomie województw. Każde województwo charakteryzuje się specyficznymi cechami przyrodniczymi, gospodarczymi, społecznymi i innymi, dlatego zadanie opracowania kompleksowej metodologii oceny bezpieczeństwa ekologicznego jest dość trudne i obciążone ryzykiem błędu. Ponadto końcowy wynik badań zależy także od założeń przyjętych w analizie, szczególnie dotyczących ustalania norm środowiskowych. Badanie omówione w niniejszym artykule powinno być kontynuowane, np. poprzez wydłużenie przedziału czasowego, dobór innych wskaźników lub wykorzystanie innych metod statystycznych. Cenne byłoby także przeprowadzenie analiz na poziomie regionów w pozostałych krajach Unii Europejskiej i wybranych krajach świata.

## Bibliografia

- Alberton, M. (2012). Environmental Protection in the EU Member States: Changing Institutional Scenarios and Trends. *L'Europe en Formation*, (1), 287–300. <https://doi.org/10.3917/eufor.363.0287>.
- Balicki, A. (2009). *Statystyczna analiza wielowymiarowa i jej zastosowania społeczno-ekonomiczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Bąk, I., Wawrzyniak, K., Sulikowski, P. (2024). Sustainable development and the degree of implementation of European Union environmental directives. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1324030>.
- Blasius, J. (2001). *Korrespondenzanalyse*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. <https://doi.org/10.1515/9783486808346>.
- Boguski, J. (2012). Model ochrony środowiska przyrodniczego w regionach rolniczych. *Postępy Techniki i Przetwórstwa Spożywczego*, (1), 113–117.
- Brzoska, K., Lewandowska, A. (2013). Wzrost gospodarczy w świetle koncepcji zrównoważonego rozwoju. W: M. Kuczmarska, I. Pietryka (red.), *Problemy gospodarki światowej* (t. 3, s. 83–97). Wydawnictwo Instytutu Badań Gospodarczych, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne Oddział w Toruniu.
- Buła, R., Foltyn-Zarychta, M. (2023). Declining Discount Rates for Energy Policy Investments in CEE EU Member Countries. *Energies*, 16(1), 1–27. <https://doi.org/10.3390/en16010321>.
- Chang, K.-C., Wang, D., Lu, Y., Chang, W., Ren, G., Liu, L., Zhou, X. (2021). Environmental Regulation, Promotion Pressure of Officials, and Enterprise Environmental Protection Investment. *Frontiers in Public Health*, 9, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.724351>.
- Ciszek, M. (2017). Bezpieczeństwo ekologiczne – ważny czy żywotny interes narodowy? (perspektywa całościowa). *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 15(2), 13–26. <http://doi.org/10.21697/seb.2017.15.2.02>.

- Dechezleprêtre, A., Sato, M. (2017). The Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 183–206. <https://doi.org/10.1093/leep/rex013>.
- Demidova, S., Balog, M., Chircova, T., Kulachinskaya, A., Zueva, S., Akhmetova, I., Ilyashenko, S. (2021). Development of Methodology and Assessment of Ecological Safety of the EAEU and CIS Regions in the Context of Sustainable Development. *Economies*, 9(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/economies9030100>.
- Ding, M., Liu, W., Xiao, L., Zhong, F., Lu, N., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, X., Wang, K. (2022). Construction and optimization strategy of ecological security pattern in a rapidly urbanizing region: A case study in central-south China. *Ecological Indicators*, 136, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108604>.
- Dmitrieva, I. A., Milesheko, L. P., Sakharova, O. N., Gordienko, L. V. (2020). Progress in environmental safety (review). *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 421(7), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/7/072013>.
- European Parliament. (2024). *Taking the lead on climate change*. Pobrane 22 grudnia 2024 r. z <https://www.consilium.europa.eu/en/eu-climate-change/>.
- Famulska, T., Kaczmarzyk, J., Grząba-Włoszek, M. (2022). Environmental Taxes in the Member States of the European Union – Trends in Energy Taxes. *Energies*, 15(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en15228718>.
- Filipiak, B. Z., Wyszowska, D. (2022). Determinants of Reducing Greenhouse Gas Emissions in European Union Countries. *Energies*, 15(24), 1–24. <https://doi.org/10.3390/en15249561>.
- Goulden, S., Negev, M., Reicher, S., Berman, T. (2019). Implications of standards in setting environmental policy. *Environmental Science & Policy*, 98, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.05.002>.
- Greenacre, M. J. (1984). *Theory and Applications of Correspondence Analysis*. Academic Press. <http://www.carme-n.org/?sec=books5>.
- Greenacre, M. (2007). *Correspondence Analysis in Practice* (2nd edition). Chapman & Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420011234>.
- Guo, Y., Yu, J., Zhu, Y., Zhang, H. (2024). Research on tourism ecological safety evaluation of Huizhou cultural and ecological reserve based on entropy – TOPSIS. *Heliyon*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24325>.
- Hoffman, D. L., Franke, G. R. (1986). Correspondence Analysis: Graphical Representation of Categorical Data in Marketing Research. *Journal of Marketing Research*, 23(3), 213–227. <https://doi.org/10.1177/002224378602300302>.
- Jonek-Kowalska, I. (2023). Assessing the Effectiveness of Air Quality Improvements in Polish Cities Aspiring to Be Sustainably Smart. *Smart Cities*, 6(1), 510–530. <https://doi.org/10.3390/smartcities6010024>.
- Kalda, G., Sokolan, Y., Pietrucha-Urbanik, K. (2023). Ecological Safety as an Important Part of Environmental and People Security. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, 70, 5–16. <https://doi.org/10.7862/rb.2023.1>.
- Kudlak, R. (2010). Wpływ ochrony środowiska na konkurencyjność. *The Polish Journal of Economics*, 237(1–2), 109–125. <https://doi.org/10.33119/GN/101182>.

- Levinson, A., Scott Taylor, M. (2008). Unmasking the pollution haven effect. *International Economic Review*, 49(1), 223–254. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2354.2008.00478.x>.
- Malina, A. (2004). *Wielowymiarowa analiza przestrzennego zróżnicowania struktury gospodarki Polski według województw*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie.
- Mazur-Wierzbicka, E. (2023). Measurement of Progress in the Environmental Area: Poland against the Countries of the European Union. *International Journal Environmental Research Public Health*, 20(1), 1–27. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010563>.
- Młodak, A. (2006). *Analiza taksonomiczna w statystyce regionalnej*. Difin.
- Mu, S., Wang, X., Mohiuddin, M. (2022). Impact of Environmental Protection Regulations on Corporate Performance From Porter Hypothesis Perspective: A Study Based on Publicly Listed Manufacturing Firms Data. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.928697>.
- Norouzi, N., Ataei, E. (2021). Environmental Protection Regulations in the Light of Public Law and Social Obligations. *Research Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.31586/rjees.2021.010101>.
- Ostrowski, W. (2022). The Twenty Years' Crisis of European Energy Security: Central and Eastern Europe and the US. *Geopolitics*, 27(3), 875–897. <https://doi.org/10.1080/14650045.2020.1835863>.
- Ożóg, M., Puławska, S. (2009). Ochrona środowiska w unijnych regulacjach prawnych. *Prawo i Interoperacyjność*, 4–5, 53–57.
- Panek, T. (2009). *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej*. Szkoła Główna Handlowa w Warszawie – Oficyna Wydawnicza.
- Pasurka, C. (2008). Perspectives on pollution abatement and competitiveness: theory, data, and analyses. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2), 194–218. <https://doi.org/10.1093/reep/ren009>.
- Pilarczyk, A., Pilarczyk, E. (2022). Konstytucyjne gwarancje ochrony środowiska na przykładzie nałożonych kar przez wojewódzkich inspektorów ochrony środowiska. *Zeszyty Naukowe Collegium Witelona*, 43(2), 39–55. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9793>.
- Pociecha, J., Podolec, B., Sokołowski, A., Zając, K. (1988). *Metody taksonomiczne w badaniach społeczno-ekonomicznych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Porter, M. E., van der Linde, C. (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>.
- de Sadeleer, N. (2023). Environmental Law in the EU: A Pathway Toward the Green Transition. W: M. da G. Garcia, A. Cortès (red.), *Blue Planet Law. The Ecology of our Economic and Technological World* (s. 21–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24888-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24888-7_2).
- Song, Y., Chang, R., Yu, Z., Wang, R., Liu, J. (2013). The Relationship between Ecosystem Health and Ecological Safety. *Applied Mechanics and Materials*, 260–261, 781–785. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.781>.
- Sourial, N., Wolfson, C., Zhu, B., Quail, J., Fletcher, J., Karunanathan, S., Bandeen-Roche, K., Béland, F., Bergman, H. (2010). Correspondence analysis is a useful tool to uncover the relationships among categorical variables. *Journal of Clinical Epidemiology*, 63(6), 638–646. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.08.008>.

- Stanimir, A. (2005). *Analiza korespondencji jako narzędzie do badania zjawisk ekonomicznych*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu.
- Stanisz, A. (2007). *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny: t. 2. Modele liniowe i nieliniowe*. StatSoft Polska.
- Sun, M., Li, X., Yang, R., Zhang, Y., Zhang, L., Song, Z., Liu, Q., Zhao, D. (2020). Comprehensive partitions and different strategies based on ecological security and economic development in Guizhou Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122794>.
- Tudor, C., Sova, R. (2022). EU Net-Zero Policy Achievement Assessment in Selected Members through Automated Forecasting Algorithms. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040232>.
- Wawrzyniak, K. (2012). Ocena stopnia realizacji celu głównego strategii rozwoju kraju według województw. *Wiadomości Statystyczne*, 57(12), 36–52. <https://doi.org/10.59139/ws.2012.12.2>.
- Wen, J., Hou, K. (2021). Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations. *Ecological Indicators*, 127, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107797>.
- Zhu, D., Liu, C., Dong, Y., Hua, J. (2022). The Effect of Environmental Regulation on Corporate Environmental Governance Behavior and Its Mechanisms. *Sustainability*, 14(15), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su14159050>.