

Dorota ROZMUS¹

Poziom zrównoważonego rozwoju w Polsce i krajach UE – analiza z zastosowaniem miar stabilności grupowania

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach w kontekście metod taksonomicznych dużo uwagi poświęca się zagadnieniu stabilności tych metod, czyli odpowiedzi na pytanie na ile struktura odkryta przez daną metodę rzeczywiście jest obecna w danych? Kryterium to bada, czy grupy, które zostały utworzone w wyniku podziału zbioru obiektów występują rzeczywiście (struktura jest stabilna), czy też pojawiły się przypadkowo.

Nieformalnie kryterium to stanowi, że jeżeli algorytm taksonomiczny jest wielokrotnie stosowany do niezależnych prób (przy niezmiennych parametrach algorytmu), dając w efekcie podobne wyniki grupowania, to można je uznać za stabilne i odzwierciedlające rzeczywistą strukturę grup (Shamir, Tishby, 2008).

Volkovich i inni (2010) stwierdzają, że liczba grup, która maksymalizuje stabilność może służyć jako odpowiedź na pytanie na ile grup należy dokonać podziału? Dlatego też kryterium to najczęściej wykorzystywane jest do ustalania liczby grup, na które dzieli się zbiór obiektów.

W literaturze zaproponowano wiele różnych sposobów pomiaru stabilności, przy czym głównie są to miary odnoszące się do stabilności ostatecznego wyniku grupowania (np. Ben-Hur, Guyon, 2003; Brock i inni, 2008; Henning, 2007; Fang, Wang, 2012; Suzuki, Shimodaira, 2006). Lord i inni (2017) natomiast zaproponowali miarę stabilności dla każdej obserwacji ze zbioru danych, która pokazuje jak silnie poszczególne obserwacje należą do grup, do których zostały przydzielone oraz miarę stabilności dla poszczególnych grup. W swoim artykule sugerują, że indywidualna miara stabilności może wskazywać obserwacje oddalone; natomiast miara stabilności odnosząca się do poszczególnych grup może wskazywać grupy obserwacji zaszumionych, które powinny zostać usunięte ze zbioru danych.

W artykule przedstawiona zostanie próba nowatorskiego podejścia do badania miejsca Polski w UE ze względu na poziom zrównoważonego rozwoju z zastosowaniem zaproponowanej przez Lorda i innych (2017) indywidualnej miary stabilności oraz miary stabilności dla poszczególnych grup. W literaturze

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Wydział Finansów i Ubezpieczeń, Katedra Analiz Gospodarczych i Finansowych, ul. 1 Maja 50, 40-287 Katowice, Polska, e-mail: dorota.rozmus@ue.katowice.pl.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0565-5319>.

istnieje sporo opracowań podejmujących tę tematykę (np. Katola, 2013; Gajos, 2017; Teneta-Skwiercz, 2018), jednakże żadne z nich nie wykorzystuje mierników stabilności grupowania. Badanie przeprowadzono w programie **R** z zastosowaniem biblioteki `ClusterStability` na danych uzyskanych z GUS.

2. STABILNOŚĆ OBSERWACJI, GRUPY I CAŁEGO GRUPOWANIA

Lord i inni (2017) swoją propozycję pomiaru stabilności rozpoczęli od zdefiniowania indywidualnej miary stabilności, która odnosi się do pojedynczych obserwacji w grupowaniu. Jest ona liczona przy wykorzystaniu wielokrotnie przeprowadzanego grupowania metodami iteracyjno-ptymalizacyjnymi (np. k -średnich, k -medoidów) z losowym wyborem załączków skupień. Zaproponowana indywidualna miara stabilności dla obserwacji jest następnie podstawą do wyliczania miar stabilności dla poszczególnych grup i globalnej miary stabilności dla całego wyniku grupowania. Autorzy proponują także, by globalną miarę stabilności stosować jako wskazówkę przy ustalaniu liczby grup.

W celu wyznaczenia zaproponowanych miar stabilności trzeba najpierw zdefiniować tzw. oceny wsparcia obiektów (ang. *support scores of the objects*). Ocena wsparcia jest liczona przy wykorzystaniu informacji o jakości uzyskanego grupowania, która mierzona jest wybranymi indeksami jakości grupowania (np. Calińskiego-Harabasza). Wyróżniamy dwie oceny wsparcia: ocenę parami (ang. *pairwise score*) oraz ocenę pojedynczą (ang. *the singleton suport*).

Wprowadzone zostaną następujące oznaczenia:

N – liczba obiektów,

K – liczba grup,

s – ilość zastosowań algorytmu taksonomicznego ($s = 1, 2, \dots, S$),

C_s – wynik grupowania z s -tego zastosowania algorytmu taksonomicznego,

I_s – wybrany indeks jakości grupowania (np. Calińskiego-Harabasza) obliczony dla wyniku C_s .

Ocena parami dwóch obiektów i oraz j liczona jest ze wzoru

$$O_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^S I_{s,ij}}{\sum_{s=1}^S I_s}, \quad (1)$$

gdzie: $I_{s,ij} = I_s$, gdy i -ty oraz j -ty obiekt należą do tej samej grupy w grupowaniu C_s ; $I_{s,ij} = 0$ w przeciwnym wypadku.

Ocena pojedyncza dla obiektu i odzwierciedla prawdopodobieństwo tego, że i -ty obiekt tworzy grupę jednoelementową. Obliczana jest jako

$$O_i = \frac{\sum_{s=1}^S I_{s,i}}{\sum_{s=1}^S I_s}, \quad (2)$$

gdzie: $I_{s,i} = I_s$, gdy obiekt należy do grupy jednoelementowej w grupowaniu C_s ; $I_{s,i} = 0$ w przeciwnym wypadku.

Mając zdefiniowane powyższe pojęcia, można przystąpić do przedstawienia poszczególnych miar stabilności.

Indywidualna miara stabilności, dla dużych wartości N , może być liczona z następującego wzoru aproksymacyjnego²:

$$ST(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1 (j \neq i)}^N \max \left(\frac{K}{K-1} \times \left(O_{ij} - \frac{1}{K} \right); K \times \left(\frac{1}{K} - O_{ij} \right) \right) + \frac{1}{N} \cdot \max \left(\frac{K^{N-1}}{K^{N-1} - (K-1)^{N-1}} \times \left(O_i - \frac{(K-1)^{N-1}}{K^{N-1}} \right); \frac{K^{N-1}}{(K-1)^{N-1}} \times \left(\frac{(K-1)^{N-1}}{K^{N-1}} - O_i \right) \right). \quad (3)$$

Indywidualna miara stabilności pozwala zidentyfikować obserwacje odstające jako najbardziej niestabilne elementy grupowania, które potem mogą zostać usunięte ze zbioru danych.

Stabilność P -tej grupy, oznaczana jako ST_P , jest obliczana w następujący sposób:

$$ST_P = \frac{1}{N_P} \sum_{i=1}^{N_P} ST(i). \quad (4)$$

W wielu przypadkach, grupy o niskiej stabilności mogą zostać uznane za grupy obserwacji zasumionych, które powinny zostać usunięte ze zbioru danych (Lord i inni, 2017).

Globalna miara stabilności obliczana dla całego wyniku grupowania, ustalana jest ze wzoru:

$$ST_{global} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ST(i). \quad (5)$$

Globalna miara stabilności może być wykorzystywana w celu ustalania liczby grup, na które należy dokonać podziału zbioru obiektów.

Wartości wszystkich przedstawionych miar stabilności (równania (3), (4), (5)) zawierają się w przedziale od 0 do 1, przy czym im wyższa wartość, tym wyższa stabilność indywidualna, grupowa bądź globalna.

² Dokładny wzór na indywidualną miarę stabilności dla dowolnej wartości N , wykorzystującą liczby Sterlinga drugiego rodzaju, można znaleźć w pracy Lorda i innych (2017).

3. ZBIÓR DANYCH I PRZEBIEG BADAŃ

Zbiór danych utworzony został na podstawie danych zaczerpniętych z GUS z aplikacji Wskaźniki Zrównoważonego Rozwoju, która monitoruje realizację polityki zrównoważonego rozwoju w państwach UE. Dane te podzielone są na cztery grupy, monitorujące realizację polityki zrównoważonego rozwoju w ramach następujących ładów:

- społecznego,
- gospodarczego,
- środowiskowego,
- instytucjonalno-politycznego.

W badaniu wykorzystano dane z 2015 roku, które obejmują 63 zmienne z kompletnymi danymi.

Jako metodę grupowania wybrano metodę k -średnich, którą dla obliczenia zaproponowanych mierników stabilności zastosowano 100 razy, przy założeniu losowego doboru początkowych załączków skupień. W badaniu stabilności wykorzystano wszystkie dostępne w bibliotece `ClusterStability` indeksy jakości grupowania, tj. Calińskiego-Harabasz (ch), indeks sylwetkowy (sil), Dunna (dun) oraz Daviesa-Bouldina (db)³.

4. WYNIKI EMPIRYCZNE

W pierwszym kroku ustalono, na ile grup należy dokonać podziału. W tym celu, zgodnie z sugestią Lorda i innych (2017) sprawdzono, dla jakiej wartości parametru k uzyskane zostaną najwyższe wartości globalnych miar stabilności. Wyniki zawarte w tabeli 1. pokazują, że najwyższą stabilnością rezultatów charakteryzuje się grupowanie na dwie klasy obiektów. Najwyższą wartość uzyskuje miernik stabilności oparty na indeksie Calińskiego-Harabasz (ST_global_ch = 0,901), a najniższą miarą wykorzystującą indeks Dunna (ST_global_dun = 0,866).

Tabela 1. WARTOŚCI GLOBALNYCH MIERNIKÓW STABILNOŚCI DLA RÓŻNYCH WARTOŚCI PARAMETRU k

Miernik	Liczba grup				
	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$	$k = 6$
ST_global_ch	0,901	0,724	0,722	0,726	0,725
ST_global_sil	0,880	0,720	0,720	0,726	0,728
ST_global_dun	0,866	0,719	0,720	0,721	0,725
ST_global_db	0,896	0,718	0,713	0,724	0,724

Źródło: obliczenia własne.

³ W nawiasach podano skróty, które znajdują się w tabelach z wynikami.

W związku z powyższymi wynikami cała dalsza analiza przebiegać będzie przy założeniu podziału państw UE na dwie grupy. W tabeli 2 zaprezentowana została przynależność obiektów do poszczególnych grup oraz wartości indywidualnych mierników stabilności.

Wyniki zawarte w tabeli 2 pokazują, że Polska znalazła się w grupie z takimi krajami, jak Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Czechy, Estonia, Grecja, Hiszpania, Irlandia, Litwa, Łotwa, Malta, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Węgry, Wielka Brytania, Włochy. Analizując wartości indywidualnych mierników stabilności dla wszystkich obiektów widzimy, że w zdecydowanej większości kształtują się one na wysokim poziomie, co świadczy o mocnej przynależności krajów UE do grup, do których zostały przydzielone. Wyjątkiem są jedynie Irlandia i Wielka Brytania, dla których indywidualne mierniki stabilności z zastosowaniem wszystkich możliwych indeksów jakości grupowania przyjmują niskie wartości. Dla Irlandii najniższą wartość przybiera indywidualna miara stabilności z zastosowaniem indeksu sylwetkowego ($ST_{sil} = 0,239$), a najwyższą miara z zastosowaniem indeksu Dunna ($ST_{dun} = 0,342$). Dla Wielkiej Brytanii najniższą i najwyższą wartość również przyjmują miary stabilności z zastosowaniem tych samych indeksów jakości jak w przypadku Irlandii ($ST_{sil} = 0,369$ oraz $ST_{dun} = 0,463$). Niskie wartości indywidualnych miar stabilności świadczą o tym, że kraje te słabo wpasowują się w strukturę drugiej grupy (są obserwacjami odstającymi w tej grupie).

Tabela 2. PRZYNALEŻNOŚĆ OBIEKTÓW DO GRUP
ORAZ WARTOŚCI INDYWIDUALNYCH MIERNIKÓW STABILNOŚCI

Kraj	Grupa	Indywidualna miara stabilności			
		ST_ch	ST_sil	ST_dun	ST_db
Austria	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Belgia	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Bułgaria	2	0,943	0,919	0,890	0,933
Chorwacja	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Cypr	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Czechy	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Dania	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Estonia	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Finlandia	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Francja	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Grecja	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Hiszpania	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Holandia	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Irlandia	2	0,267	0,239	0,342	0,290
Litwa	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Luksemburg	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Łotwa	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Malta	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Niemcy	1	0,944	0,920	0,891	0,934

Tabela 2. PRZYNALEŻNOŚĆ OBIEKTÓW DO GRUP
ORAZ WARTOŚCI INDYWIDUALNYCH MIERNIKÓW STABILNOŚCI (dok.)

Kraj	Grupa	Indywidualna miara stabilności			
		ST_ch	ST_sil	ST_dun	ST_db
Polska	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Portugalia	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Rumunia	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Słowacja	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Słowenia	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Szwecja	1	0,944	0,920	0,891	0,934
Węgry	2	0,945	0,927	0,908	0,939
Wielka Brytania	2	0,400	0,369	0,463	0,421
Włochy	2	0,945	0,927	0,908	0,939

Źródło: obliczenia własne.

Doszukując się przyczyny tak niskich wartości indywidualnych miar stabilności dla Irlandii i Wielkiej Brytanii, prześledzone zostały wartości poszczególnych zmiennych dla tych krajów. Analiza ujawniła, że istnieje kilka takich cech, których wartości znacznie odbiegają od poziomu wartości tych charakterystyk dla innych państw z drugiej grupy. Przykładowo są to:

- oczekiwane trwanie życia osób w wieku 65 lat w zdrowiu (wysoka wartość w porównaniu z innymi państwami w 2. grupie),
- zagrożenie ubóstwem trwałym (niska wartość w porównaniu z innymi państwami w 2. grupie),
- ofiary śmiertelne wypadków drogowych na 1 mln ludności (niska wartość w porównaniu z innymi państwami w 2. grupie),
- produkt krajowy brutto na 1 mieszkańca według PPP (wysoka wartość w porównaniu z innymi państwami w 2. grupie),
- wskaźnik ekoinnowacyjności (wysoka wartość w porównaniu z innymi państwami w 2. grupie).

Tabela 3. ŚREDNIE WARTOŚCI CECH W GRUPACH

Kraj/grupa	Oczekiwane trwanie życia osób w wieku 65 lat w zdrowiu	Zagrożenie ubóstwem trwałym	Ofiary śmiertelne wypadków drogowych na 1 mln ludności	Produkt krajowy brutto na 1 mieszkańca według PPP	Wskaźnik ekoinnowacyjności
Wielka Brytania	10,40	7,30	27,70	108,00	112,00
Irlandia	12,00	9,40	40,90	177,00	98,00
Grupa 1	10,83	8,39	46,92	137,11	114,78
Grupa 2	7,46	11,51	63,09	81,58	76,95
Grupa 2 bez IRL i GB	7,02	11,88	66,48	74,41	73,65

Źródło: obliczenia własne.

Średnie wartości wyżej wymienionych cech w grupach oraz dla Irlandii i Wielkiej Brytanii przedstawia tabela 3. W ostatniej linijce umieszczono informacje o średniej wartości cech w drugiej grupie po usunięciu z niej Irlandii oraz Wielkiej Brytanii. Wyniki zawarte w tabeli ujawniają, że pod względem wymienionych cech Irlandii i Wielkiej Brytanii bliżej jest do poziomu pierwszej grupy.

Tabela 4 zawiera wartości globalnych mierników stabilności dla poszczególnych grup. Na ich podstawie widać, że grupa pierwsza charakteryzuje się wyższą stabilnością niż druga, co świadczy o tym, że obiekty będące w grupie 1. Stanowią silniejszą strukturę niż te, które znalazły się w grupie 2.

Tabela 4. WARTOŚCI GLOBALNYCH MIERNIKÓW STABILNOŚCI
DLA POSZCZEGÓLNYCH GRUP

Grupa	Miary stabilności dla grup			
	ST_ch	ST_sil	ST_dunn	ST_db
Grupa 1	0,944	0,920	0,891	0,934
Grupa 2	0,881	0,861	0,854	0,877

Źródło: obliczenia własne.

Z uwagi jednak na to, że w drugiej grupie znalazły się Irlandia i Wielka Brytania, dla których indywidualne miary stabilności wskazywały na słabe do niej dopasowanie, dlatego w kolejnym kroku usunięto te kraje z drugiej grupy i policzono ponownie wartości globalnych mierników stabilności. Wyniki zawarte w tabeli 5 pokazują, że usunięcie tych dwóch obiektów skutkuje wzrostem wartości globalnych miar stabilności, a nawet przewyższenie wartości globalnych miar stabilności grupy 1.

Tabela 5. WARTOŚCI GLOBALNYCH MIERNIKÓW STABILNOŚCI
DLA POSZCZEGÓLNYCH GRUP PO USUNIĘCIU WIELKIEJ BRYTANII I IRLANDII

Grupa	Miary stabilności dla grup			
	ST_ch	ST_sil	ST_dunn	ST_db
Grupa 1	0,944	0,920	0,891	0,934
Grupa 2	0,945	0,927	0,907	0,939

Źródło: obliczenia własne.

Odpowiadając na pytanie zawarte we Wprowadzeniu do artykułu z uzyskanych rezultatów badań wynika, że Polska, znajdując się w grupie tych państw, które gorzej radzą sobie z realizacją postulatów polityki zrównoważonego rozwoju, jest państwem silnie do tej grupy przynależącym, o czym świadczy wysoka wartość indywidualnych mierników stabilności (powyżej 0,9). Natomiast wysoka wartość miary stabilności dla drugiej grupy (zwłaszcza po usunięciu z niej Irlandii i Wielkiej Brytanii) świadczy o tym, że wyodrębnienie tej grupy jest jak najbardziej zasadne. Podsumowując, zatem można stwierdzić, że Polska dobrze dopasowuje się do silnej grupy tych państw, które nieco słabiej radzą sobie z wymogami polityki zrównoważonego rozwoju.

5. WNIOSKI

W artykule zaprezentowano propozycję Lorda i innych (2017) dotyczącą badania stabilności metod grupowania nie tylko aspekcie globalnym, odnoszącym się do całości wyniku grupowania, ale także w odniesieniu do każdej wyróżnionej grupy i obserwacji w zbiorze danych.

Zasadniczym celem artykułu było natomiast zastosowanie tych miar do odpowiedzi na konkretne pytanie gdzie jest miejsce Polski w UE w zakresie poziomu zrównoważonego rozwoju? Wyniki analiz z zastosowaniem miar stabilności pokazały, że wyróżnić należy dwie grupy państw – tych o niższym i o wyższym poziomie zrównoważonego rozwoju. Polska należy do wyraźnej grupy państw o niższym poziomie zrównoważonego rozwoju i przynależność naszego kraju do tej grupy jest silna. Ponadto wyniki badań pokazały, że rzeczywiście, jak sugerują Autorzy tych miar, indywidualna miara stabilności może wskazywać obserwacje oddalone, niepasujące do grupy, do której zostały przydzielone. Krajami takimi okazały się Irlandia i Wielka Brytania, dla których, po głębszej analizie zbioru danych, wskazano takie zmienne, których wartości wyraźnie odbiegają od poziomu przeciętnego w drugiej grupie.

Oczywiście dyskusyjnym jest zasadność podziału 28 bardzo różniących się między sobą państw należących do UE na dwie tylko grupy. Choć w badaniach dokonywano podziału państw na większą ilość grup niż pokazano w punkcie 2., to w artykule ograniczono się tylko do pokazania wyników dla maksymalnie sześciu grup. Jednakże nawet przy dokonywaniu podziału na więcej niż sześć grup, nadal najlepszym w świetle globalnej miary stabilności, okazywał się podział na dwie grupy. Ciekawym rozwinięciem tej analizy będzie porównanie z wynikami podziału na grupy z zastosowaniem innych miar stabilności grupowania.

Drugim spornym aspektem (który był szeroko dyskutowany na konferencji Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych, na której przedstawione zostały wyniki tych analiz) był fakt przeprowadzenia grupowania biorąc pod uwagę wszystkie cztery łady jednocześnie. Wiąże się to z problematyką słabej i silnej zasady trwałości rozwoju (Lorek, 2011). Dyskusje na temat relacji między pojęciami rozwoju zrównoważonego oraz rozwoju trwałego znaleźć np. w pracach: Borysa (2005, 2014), Górki (2007), Lorek (2011).

Zgodnie ze słabą zasadą trwałości rozwoju dopuszczalne jest branie pod uwagę wszystkich ładów łącznie, gdyż zasoby z tych ładów uważane są za substytucyjne. I w tym duchu przeprowadzono analizę zaprezentowaną w niniejszym artykule. Według silnej zasady trwałości rozwoju, zasoby w ramach każdego ładu uważa się za komplementarne, w związku z czym każdy ład powinien być rozpatrywany osobno, ponieważ nie jest możliwym rozwijanie jednego ładu kosztem drugiego. Dalsze badania zatem będą miały na celu porównanie uzyskanych wyników z podobnymi analizami, ale w ramach każdego ładu z osobna.

LITERATURA

- Ben-Hur A., Guyon I., (2003), Detecting Stable Clusters Using Principal Component Analysis, *Methods in Molecular Biology*, 224, 59–182.
- Borys T., (red.), (2005), *Wskaźniki zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Warszawa-Białystok, 41–43.
- Borys T., (2014), Wybrane problemy metodologii pomiaru nowego paradygmatu rozwoju – polskie doświadczenia, *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 3 (69), 3–21.
- Brock G., Pihur V., Datta S., Datta, S., (2008), `clValid`: An R Package for Cluster Validation, *Journal of Statistical Software*, (25) 4.
- Fang Y., Wang J., (2012), Selection of the Number of Clusters via the Bootstrap Method, *Computational Statistics and Data Analysis*, 56, 468–477.
- Gajos E., (2017), Implementation of Selected Sustainable Development Objectives in European Union Countries, *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 17 (4), 68–77.
- Górka K., (2007), Wdrażanie koncepcji rozwoju zrównoważonego i trwałego, *Ekonomia i Środowisko*, 2 (32), 8–20.
- Hennig C., (2007), Cluster-wise Assessment of Cluster Stability, *Computational Statistics and Data Analysis*, 52, 258–271.
- Katola A., (2013), Poziom zrównoważonego rozwoju w Polsce i innych krajach Unii Europejskiej, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, (57), 249–262.
- Lord E., Willems M., Lapointe F. J., Makarenkov V., (2017), Using the Stability of Objects to Determine the Number of Clusters in Datasets, *Information Sciences*, 393, 29–46.
- Lorek E., (2011), Ekonomia zrównoważonego rozwoju w badaniach polskich i niemieckich, w: Kos B., (red.), *Transformacja gospodarki – poziom krajowy i międzynarodowy*, *Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 90, 103–112.
- Shamir O., Tishby N., (2008), Cluster Stability for Finite Samples, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 20, 1297–1304.
- Suzuki R., Shimodaira H., (2006), `PvcLust`: An R Package for Assessing the Uncertainty in Hierarchical Clustering, *Bioinformatics*, 22 (12), 1540–2.
- Teneta-Skwiercz D., (2018), Wskaźniki pomiaru zrównoważonego rozwoju – Polska na tle krajów Unii Europejskiej, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 516, 121–132.
- Volkovich Z., Barzily Z., Toledano-Kitai D., Avros R., (2010), The Hotteling's Metric as a Cluster Stability Measure, *Computer Modelling and New Technologies*, 14 (4), 65–72.

POZIOM ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W POLSCE I KRAJACH UE – ANALIZA Z ZASTOSOWANIEM MIAR STABILNOŚCI GRUPOWANIA

Streszczenie

W kontekście metod taksonomicznych w ostatnich latach dużo uwagi poświęca się zagadnieniu stabilności tych metod, czyli odpowiedzi na pytanie na ile struktura odkryta przez daną metodę rzeczywiście jest obecna w danych?

W literaturze zaproponowano wiele różnych sposobów pomiaru stabilności, przy czym głównie są to miary odnoszące się do stabilności ostatecznego wyniku grupowania. Lord i inni (2017) natomiast zaproponowali miarę stabilności dla każdej obserwacji ze zbioru danych oraz miarę stabilności dla poszczególnych grup. W artykule Autorzy ci sugerują, że indywidualna miara stabilności może wskazywać obserwacje oddalone, natomiast miara stabilności odnosząca się do poszczególnych grup może wskazywać grupy obserwacji zaszumionych, które powinny zostać usunięte ze zbioru danych.

Celem artykułu jest próba zastosowania zaproponowanej indywidualnej miary stabilności oraz miary stabilności dla poszczególnych grup do odpowiedzi na pytanie, jak dobrze Polska dopasowana jest do poziomu UE pod względem poziomu zrównoważonego rozwoju?

Słowa kluczowe: grupowanie, taksonomia, stabilność grupowania, zrównoważony rozwój

LEVEL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN POLAND AND EU COUNTRIES – ANALYSIS WITH CLUSTER STABILITY MEASURES

Abstract

In the context of taxonomy methods in recent years, a lot of attention is paid to the stability of these methods, i.e. the answer to the question to what extent the structure discovered by a given method is actually present in the data?

Many different ways of measuring stability have been proposed in the literature, which are mainly relating to the stability of the final grouping result. Lord et al. (2017) instead proposed a measure of stability for each observation from the data set and the measure of stability for individual groups. In their article, they suggest that an individual measure of stability may indicate noisy observation whereas the stability measure relating to particular groups may indicate clusters of noise which should be removed from the dataset.

The aim of the paper is to apply the proposed individual measure of stability and a measure of stability for individual groups to answer the question to what extent Poland is matched the EU in terms of the level of sustainable development.

Keywords: clustering, taxonomy, cluster stability, sustainable development

JEL Codes: C38