
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 26
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok IX

Warszawa–Opole 2016

ALICJA KOLASA-WIĘCEK*

Segmentacja państw UE-28 w zakresie emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa z wykorzystaniem analizy skupień

Słowa kluczowe: gazy cieplarniane, emisje rolnicze, metan, podtlenek azotu, Unia Europejska, analiza skupień, grupowanie aglomeracyjne.

W artykule zaprezentowano wyniki badań z zastosowaniem metody grupowania aglomeracyjnego. Celem badań było pogrupowanie państw członkowskich UE-28 w podzbiory najbardziej do siebie podobne pod względem emisji metanu i podtlenku azotu, uwalnianych przez sektor rolny, oraz usytuowanie Polski na ich tle. Wyraźnie homogenicznym państwem jest Francja z najwyższymi w Unii emisjami rolniczymi. Odrębne skupienie stanowią Niemcy i Wielka Brytania, również charakteryzujące się wysokimi emisjami. Trzecia wyodrębniona grupa, także z emisjami powyższej średniej europejskiej, składa się z sześciu krajów, do których zakwalifikowała się Polska. Pozostałe 19 państw zaszeregowano do ostatniego skupienia.

1. Wprowadzenie

Emisje rolnicze głównych gazów cieplarnianych (GGC) to bezpośrednie emisje wytwarzane w produkcji roślinnej i zwierzęcej, jak również te związane ze zmianami w sposobie użytkowania gruntów. Kluczowymi zanieczyszczeniami emitowanymi z rolnictwa są metan i podtlenek azotu. Są one istotne ze względu na wysoki potencjał oddziaływania globalnego. Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (Food and Agriculture Organization – FAO) szacuje, że produkcja zwierzęca odpowiada za 15–24% emisji gazów cieplarnianych, głównie metanu (CH_4) i podtlenku azotu (N_2O) [7]. Chów zwierząt odpowiada za 35–40% emisji CH_4 na świecie, a jego głównym źródłem jest fermentacja jelitowa (ok. 90%) [1]. Szacuje się natomiast, że 29% emisji pochodzi z zarządzania obornikiem [8]. Istotnym zanieczyszczeniem nie tylko ze względu na wysoki potencjał tworzenia efektu cieplarnianego oraz długi czas przebywania w stratosferze, ale również z powodu jego udziału w degradacji warstwy ozonowej jest N_2O [5]. Źródłem

* Dr hab. inż., Politechnika Opolska, Wydział Ekonomii i Zarządzania, a.kolasa-wiecek@po.opole.pl

jego emisji jest wiele procesów naturalnie występujących w przyrodzie (gleby pod naturalną wegetacją, oceany, reakcje chemiczne w troposferze) [6]. Oszacowania wskazują, iż z rolnictwa i obszarów wiejskich pochodzi ponad 80% emisji N_2O [6]. Głównym źródłem N_2O są przede wszystkim emisje z nawozów mineralnych sztucznych i organicznych naturalnych.

Emisja CH_4 w Polsce w 2013 r. wyniosła 1683,89 kt (tj. 42,10 mln ton ekw. CO_2) i w porównaniu do roku bazowego była mniejsza o 45,5%. Udział metanu w całkowitej krajowej emisji gazów cieplarnianych wyniósł 10,7%. Trzy główne jego źródła emisji to: emisja lotna z paliw, rolnictwo oraz odpady. Ich udziały w krajowej emisji CH_4 wynosiły odpowiednio: 35,4; 32,3 i 22,7%. Dominującym źródłem emisji z rolnictwa była fermentacja jelitowa z udziałem ok. 27,8% [4].

Emisja N_2O w 2013 r. wynosiła 67,90 kt (tj. ok. 20,23 mln ton ekw. CO_2) i była niższa o 29,8% w porównaniu do roku bazowego. Udział emisji N_2O stanowił 5,1% całkowitej emisji GGC. Główne źródła emisji to: gleby rolne – 67,3%, odchody zwierzęce – 9,9%, spalanie paliw – 12,2 % oraz przemysł chemiczny – 5,5% [4].

2. Metodyka badań

Celem badań było wskazanie podobieństw pomiędzy państwami członkowskimi UE-28 pod względem emisji gazów cieplarnianych uwalnianych przez sektor rolniczy oraz usytuowanie Polski na tej mapie. Jako narzędzie wykorzystano metody grupowania hierarchicznego. Francja jest źródłem najwyższych emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa w krajach UE-28 z pięciu analizowanych źródeł (tab. 1). W dalszej kolejności plasują się Niemcy i Wielka Brytania, następnie – grupa państw, w których emisje są wyższe od średniej europejskiej, gdzie średnia kształtuje się na poziomie 2424,4 Gg (Hiszpania, Holandia, Irlandia, Polska, Włochy). Pozostaje liczna grupa tych krajów, w których emisje są niższe od średniej, przy czym jednak bardzo zróżnicowane, oraz dwa odrębne państwa ze znikomymi emisjami (Cypr i Malta). Ułożenie obiektów w grupy w taki sposób, aby stopień ich powiązania z obiektami należącymi do tej samej grupy był jak największy, a z pozostałych grup jak najmniejszy, nie jest do końca oczywiste. Metoda grupowania aglomeracyjnego służy rozwiązywaniu podobnych wątpliwości. Polega na grupowaniu obiektów w coraz to większe zbiory (skupienia), z zastosowaniem pewnej miary podobieństwa lub odległości. Celem weryfikacji liczby skupień, zastosowano pięć metod różniących się sposobami obliczania odległości między nimi. Wykorzystano wybrane metody aglomeracyjne: metodę wiązania pojedynczego, wiązania pełnego, metodę Warda, metodę średnich połączeń oraz średnich połączeń ważonych.

Na wstępie działania procedury aglomeracyjnej przyjmuje się, że każdy obiekt stanowi osobne skupienie. Następnie krokowo łączą się w podzbiory podgrupy

najbardziej do siebie podobne, aż do otrzymania jednego skupienia zawierającego wszystkie obserwacje. W ten sposób otrzymuje się wynikową segmentację, będącą uporządkowanym zestawieniem podziałów na segmenty [3]. Analiza skupień dąży do heterogeniczności skupień poprzez łączenie ze sobą obiektów na podstawie wyliczonych odległości między nimi. Do określania odległości przyjęto powszechnie stosowaną odległość euklidesową:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (1)$$

gdzie:

d_{ij} – odległość pomiędzy i-tym a j-tym obiektem,

$x_{i,k}$ – wartość k-tej cechy dla i-tego obiektu,

$x_{j,k}$ – wartość k-tej cechy dla j-tego obiektu,

n – liczba cech charakteryzujących obiekty.

W badaniach wykorzystano pięć metod grupowania aglomeracyjnego, które między sobą różnią się jedynie sposobami obliczania odległości między skupieniami:

- 1) metoda pojedynczego wiązania – odległość między dwoma skupieniami, która określona jest przez odległość między najbliższymi obiektami (sąsiadami) należącymi do różnych skupień;
- 2) metoda pełnego wiązania – odległość między skupieniami, która określa odległość między najdalej położonymi obiektami należącymi do różnych skupień;
- 3) metoda średnich połączeń – odległość między dwoma skupieniami, którą oblicza się za pomocą średniej arytmetycznej wyznaczonej ze wszystkich odległości obiektów należących do dwóch różnych skupień;
- 4) metoda średnich połączeń ważonych – metoda zbliżona do metody średnich połączeń z tą różnicą, że uwzględnia się tu wielkości skupień (liczby zawartych w nich obiektów);
- 5) metoda Warda – do oszacowania odległości między skupieniami wykorzystuje podejście analizy wariancji. Metoda ta zmierza do minimalizacji sumy kwadratów odchyleń wewnątrz skupień [2].

W przeprowadzonych analizach statystycznych wykorzystano dane stanowiące główne źródła emisji CH_4 i N_2O w rolnictwie: emisję CH_4 z fermentacji jelitowej, emisję N_2O i CH_4 z zarządzania obornikiem, emisję N_2O z nawozów sztucznych oraz emisję N_2O z obornika do nawożenia gleb [9]. Do badań wzięto dane z 2014 r. Analizę przeprowadzono w pakiecie statystycznym Statistica v.12.

3. Wyniki badań i interpretacja

W tabeli 1 zamieszczono statystykę opisową zmiennych (kraje UE-28).

Tabela 1

Statystyki opisowe zmiennych

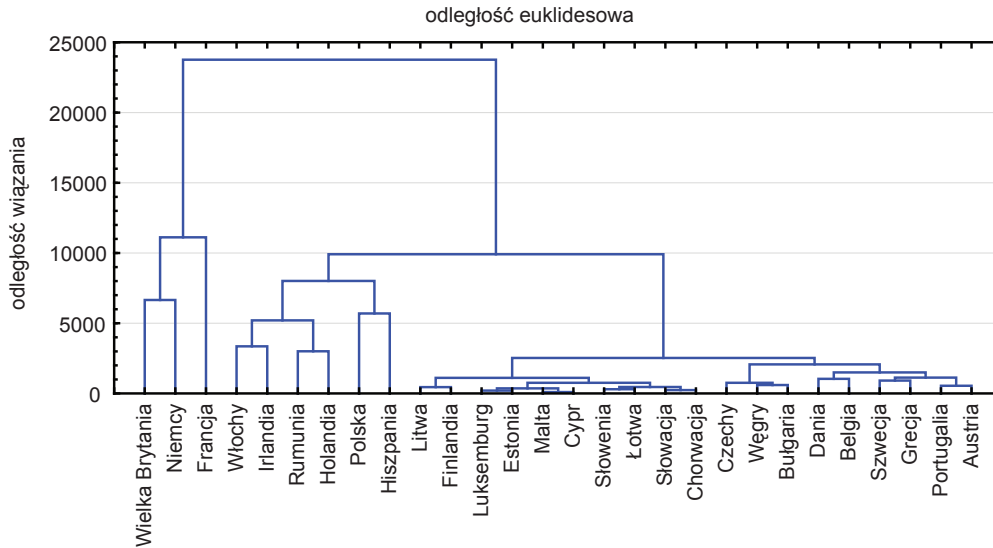
Lp.	Zmienne	Średnia [Gg]	Odchylenie standardowe [Gg]
1	Austria	1 143,97	1 157,23
2	Belgia	1 592,75	1 257,00
3	Bułgaria	865,17	982,97
4	Chorwacja	441,87	321,04
5	Cypr	52,96	35,77
6	Czechy	1 082,89	941,27
7	Dania	1 600,87	930,74
8	Estonia	196,08	166,31
9	Finlandia	697,63	567,46
10	Francja	12 266,05	10 777,53
11	Grecja	1 215,04	1 209,48
12	Hiszpania	6 130,36	3 998,63
13	Holandia	3 136,53	2 646,48
14	Irlandia	3 401,77	4 091,45
15	Litwa	540,89	458,40
16	Luksemburg	118,26	111,88
17	Łotwa	327,37	272,59
18	Malta	18,50	10,38
19	Niemcy	9 879,51	7 459,39
20	Polska	5 362,49	4 387,87
21	Portugalia	1 062,56	922,55
22	Rumunia	2 157,09	1 928,10
23	Słowacja	421,93	359,38
24	Słowenia	254,24	267,35
25	Szwecja	968,38	864,77
26	Węgry	961,24	752,35
27	Wielka Brytania	7 167,94	7 482,00
28	Włochy	4 819,75	4 067,09

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie metod średnich połączeń (ryc. 1), średnich połączeń ważonych (ryc. 3) oraz pełnego wiązania (ryc. 4) odcięcie wykresu przy standaryzowanej odległości wiązania ok. 10 tys. tworzy cztery grupy obiektów (skupień):

- skupienie 1: Wielka Brytania, Niemcy,
- skupienie 2: Francja,
- skupienie 3: Włochy, Irlandia, Rumunia, Holandia, Polska, Hiszpania,

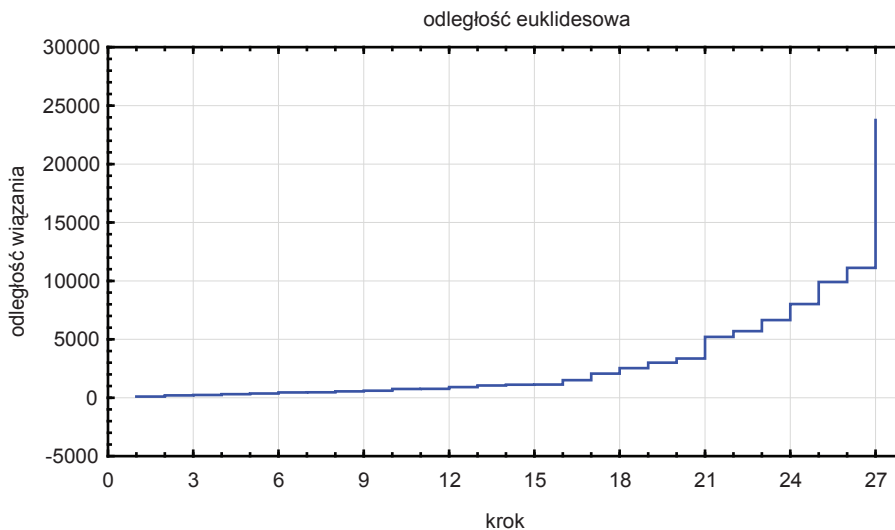
– skupienie 4: Litwa, Finlandia, Luksemburg, Estonia, Malta, Cypr, Słowenia, Łotwa, Słowacja, Chorwacja, Czechy, Węgry, Bułgaria, Dania, Belgia, Szwecja, Grecja, Portugalia, Austria.



Źródło: Opracowanie własne.

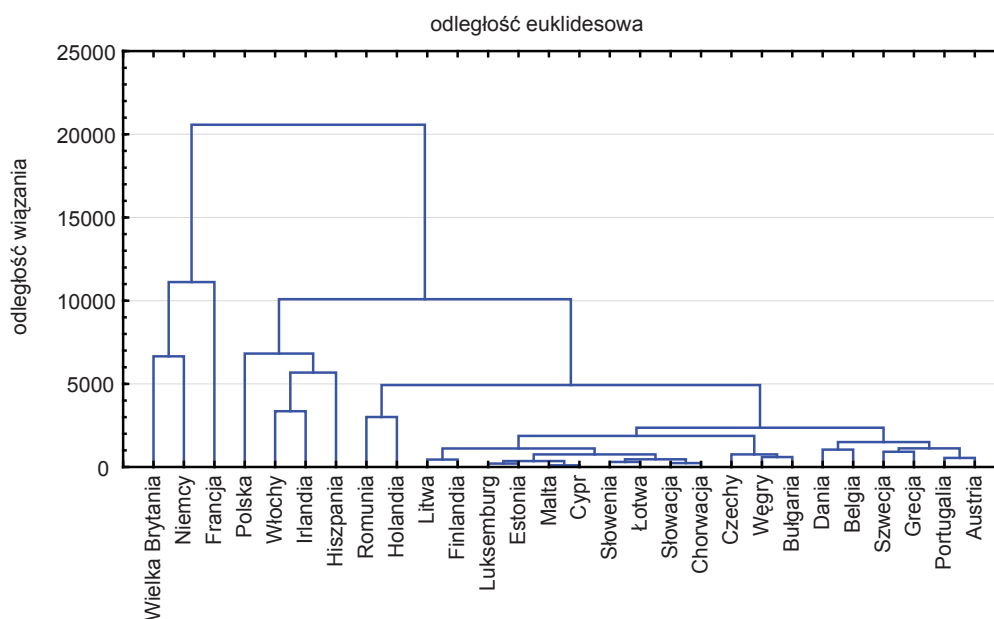
Ryc. 1. Aglomeracja metodą średnich połączeń

Na rycinie 2 zamieszczono przykładowy wykres ilustrujący przyrost długości wiązania w kolejnych krokach (iteracjach). Rycina ta obrazuje, że znaczący przyrost odległości wiązania pojawia się już na początku analizy od pierwszego do 16 kroku oraz w ostatnim 27 kroku.



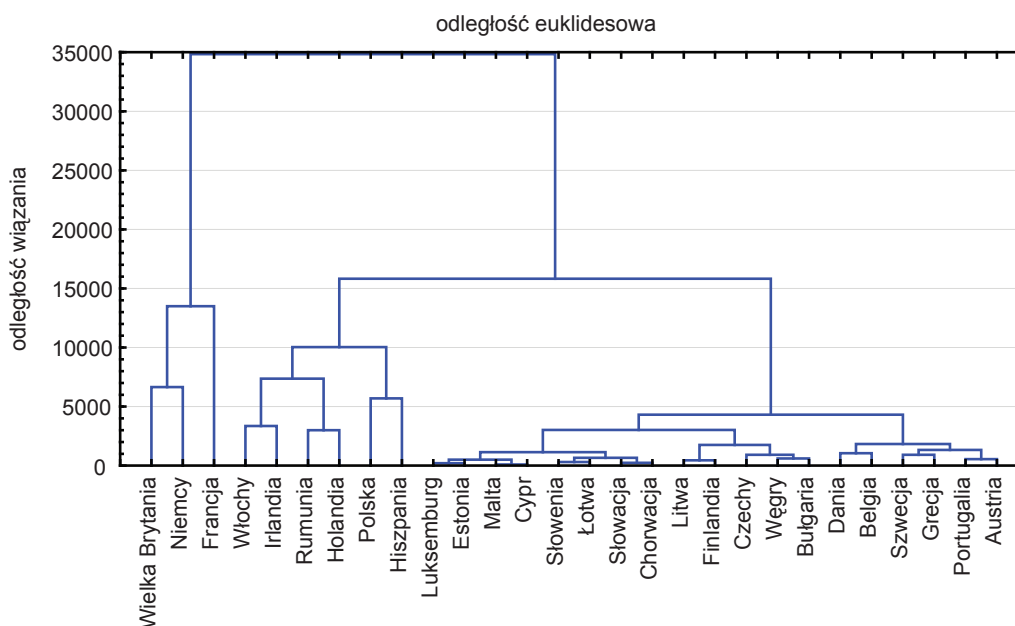
Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Odległość wiązania w kolejnych krokach analizy skupień metodą średnich połączeń



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

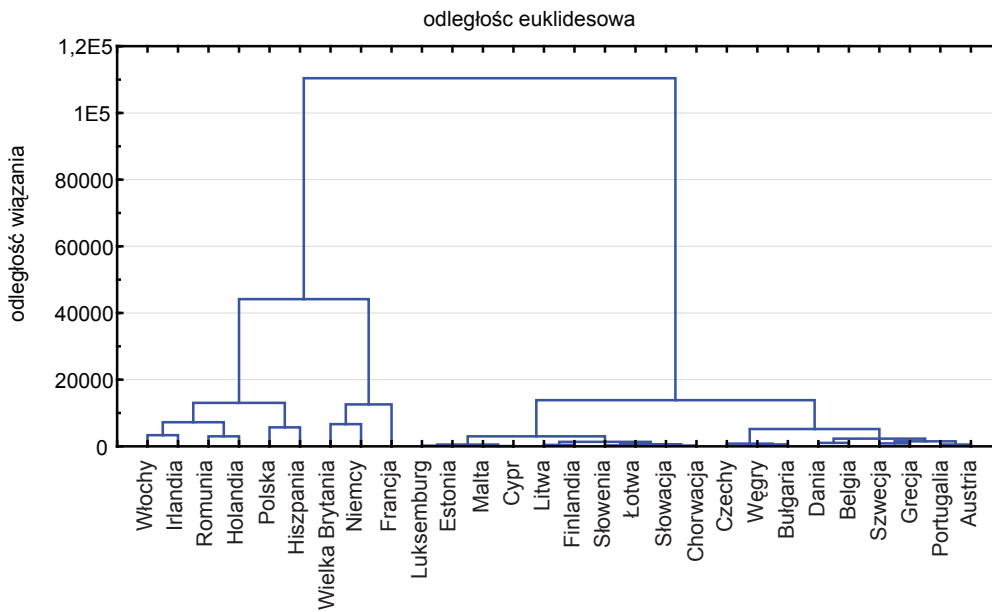
Ryc. 3. Aglomeracja metodą średnich połączeń ważonych



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Aglomeracja metodą pełnego wiązania

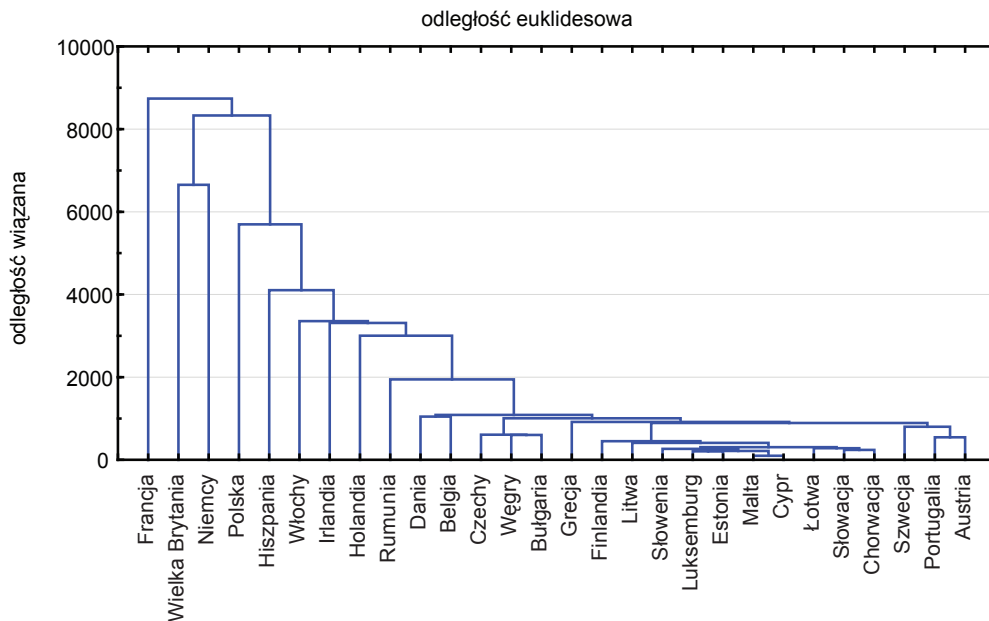
Metodą Warda elementy sklasyfikowano w bardzo zbliżony sposób (jak wyżej), otrzymując trzy obiekty. Pierwszy odpowiadający wedle wyżej zaprezentowanych metod skupieniu 3, drugi – skupiający Wielką Brytanię, Niemcy i Francję oraz ostatnia grupa odpowiadająca skupieniu 4, składająca się z pozostałych 19 krajów.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Aglomeracja metodą Warda

W wyniku zastosowania metody pojedynczego wiązania otrzymany dendrogram wskazuje, iż obiekty tworzą skupienia, łącząc się „w sznur”, a wynikowe skupienia tworzą długie łańcuchy, co jest charakterystyczne dla tej metody. Wybrana metoda nie pozwoliła na wyraźne wyodrębnienie grup skupień, poza jednym (ryc. 6).



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 6. Aglomeracja metodą pojedynczego wiązania

Analizując dendrogramy poszczególnych metod, zauważa się homogeniczność jednego z krajów – Francji, która stanowi wyraźnie odrębny obiekt (skupienie 2). Powód powyższej klasyfikacji jest uzasadniony, gdyż to Francja uwalnia najwyższą ilość gazów cieplarnianych z rolnictwa wśród krajów wspólnoty europejskiej. Tylko w przypadku emisji CH_4 pochodzącej z zarządzania obornikiem Niemcy stanowią większe źródło emisji – 6920,03 ekw. CO_2 Gg, Francja – 6009,12 ekw. CO_2 Gg (tab. 2). Do skupienia 1 zakwalifikowały się Niemcy oraz Wielka Brytania. Te dwa kraje, zaraz po Francji, są kolejnymi z najwyższymi w UE emisjami GGC z sektora rolnego (tab. 2).

T a b e l a 2

Porównanie emisji CH_4 i N_2O dla skupienia 1 i 2 oraz średniej UE [9]

Kraj	N_2O ekw. CO_2 [Gg]			CH_4 ekw. CO_2 [Gg]	
	zarządzanie obornikiem	stosowanie nawozów mineralnych sztucznych	nawożenie obornikiem	fermentacja jelitowa	zarządzanie obornikiem
Francja	3 871,79	1 5814,92	5 968,52	29 665,89	6 009,12
Wielka Brytania	2 106,70	7 490,15	3 395,62	20 018,65	2 828,58
Niemcy	3 425,78	11 765,52	5 268,33	22 017,90	6 920,03
Średnia w UE-28	810,32	2 834,21	1 286,29	5 702,43	1 488,91

Skupienie 3 obejmuje 6 państw: Włochy, Irlandię, Rumunię, Holandię, Polskę i Hiszpanię. Średnie emisje w tych krajach z analizowanych źródeł są wyższe od średniej europejskiej i wynoszą:

- N_2O ze stosowania nawozów mineralnych sztucznych – 4497,27 Gg,
- N_2O z zarządzania obornikiem – 1466,02 Gg,
- N_2O z nawożenia obornikiem – 2364,42 Gg,
- CH_4 z fermentacji jelitowej – 9665,25 Gg,
- CH_4 z zarządzania obornikiem – 2847,03 Gg.

Skupienie 4 jest najliczniejsze i obejmuje pozostałą grupę aż 19 krajów. Średnie emisje w tych państwach są 3-, 4-krotnie niższe od średniej europejskiej. Luksemburg, Estonia, Malta, Cypr, Słowenia, Łotwa, Słowacja oraz Chorwacja stanowią zbiór państw, w których emisje rolnicze CH_4 i N_2O są najniższe. Jest to zauważalne na dendrogramach w postaci podgrupy w skupieniu 4 (ryc. 1, 3, 4, 6).

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że państwa członkowskie UE-28 są istotnie zróżnicowane pod względem emisji gazów cieplarnianych z analizowanych

źródeł sektora rolnego. Wstępna analiza wielkości emisji w oparciu o dane zawarte w tabeli 1 pozwoliła na wyodrębnienie 5 grup krajów. Celem weryfikacji tak założonych ilości skupisk zastosowano metodę grupowania hierarchicznego. Istotą tego podejścia jest utworzenie jak najbardziej jednorodnych grup obiektów ze względu na podobieństwo w zakresie wewnętrznej struktury charakteryzujących je zmiennych. Zastosowano 5 metod różniących się sposobami obliczania odległości. W wyniku grupowania skorygowano wstępne założenie i uzyskano nieco odmienny od założonego wynik. Wyodrębniono 4 skupienia podobne pod względem analizowanych cech – w przypadku trzech metod: średnich połączeń, średnich połączeń ważonych oraz pełnego wiązania (metoda pojedynczego wiązania nie pozwoliła na wyraźne wyodrębnienie grup obiektów, zaś metoda Warda daje wynik w postaci 3 skupień). Utworzone skupienie 2 jest jednoelementowe i obrazuje, że Francja jest odpowiedzialna za najwyższe w UE emisje CH_4 i N_2O z rolnictwa. Emisje uwalniane przez Wielką Brytanię i Niemcy są kilkukrotnie wyższe od średniej europejskiej i stanowią odrębne skupienie. Najliczniejszy obiekt stanowi grupa 19 państw, których emisje są znacznie niższe od średniej europejskiej. Do tej grupy zakwalifikowały się również Malta i Cypr, których emisje, jak wspomniano uprzednio, są znikome.

Literatura

- [1] Bebkiewicz K., Cieślińska J., Dębski B., Kanafa M., Kargulewicz I., Olecka A., Olendrzyński K., Skośkiewicz J., Żaczek M., *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2011. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2009*, KOBiZE, Warszawa 2011.
- [2] Grajewski S., *Zastosowanie analizy skupień w porównawczych badaniach zdolności retencyjnych ekosystemów leśnych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2006, nr 3/1, s. 155–169.
- [3] Harańczyk G., *Analiza skupień na przykładzie segmentacji nowotworów*, StatSoft Polska Sp. z o.o., 2005, http://www.statsoft.pl/czytelnia/medyczne/05now_sk.pdf (28.08.2016).
- [4] Olecka A., Bebkiewicz K., Dębski B., Kanafa M., Kargulewicz I., Rutkowski J., Skośkiewicz J., Zasina D., Zimakowska-Laskowska M., Żaczek M., *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2015. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988–2013*, KOBiZE, Warszawa 2015.
- [5] Olivier J.G.J., Bouwman A.F., Van der Hoek K.W., Berdowski J.J.M., *Global air emission inventories for antropogenic sources for NO_x , NH_3 and N_2O in 1990*, „Environmental Pollution” 1998, Vol. 102, Issue 2, Suppl. 1, s. 135–148.
- [6] Sapek A., *Emisja tlenków azotu (NO_x) z gleb uprawnych i ekosystemów naturalnych do atmosfery*, „Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie” 2008, t. 8, z. 1, s. 283–304.
- [7] Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M. de Haan C., *Livestock's Long Shadow: environmental issues and options*, FAO, Rome 2006.
- [8] Verburg R., Woltjer G., Tabeau A., Eickhout B., Stehfest E., *Agricultural trade liberalisation and greenhouse gas emissions, A simulation study using the*

GTAP-IMAGE modelling Framework, The Hague, LEI, Report 3.08.02, <http://edepot.wur.nl/27468>, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/363700> (28.08.2016).

[9] www.faostat3.fao.org (28.08.2016).

ALICJA KOLASA-WIĘCEK

SEGMENTATION OF THE EU-28 MEMBERS IN TERMS
OF AGRICULTURE GREENHOUSE GAS EMISSIONS
USING CLUSTER ANALYSIS

Keywords: greenhouse gases, agricultural emission, methane, nitrous oxide, European Union, cluster analysis, agglomerative method.

The article presents the results of using the agglomerative clustering method. The aim of the study was to group the Member States of the EU-28 in most similar to each other subsets in terms of methane and nitrous oxide emissions released by agricultural sector and the location of Poland in their background. Clearly homogeneous is France with the highest agricultural emissions in the union. Separate cluster represent Germany and the United Kingdom, also characterized by high emissions. The third separate group, also with emissions above the European average is consist of six countries, where Poland has been qualified too. The remaining 19 countries has been categorized to the last cluster.