

Magdalena TUTAK  
Politechnika Śląska  
magdalena.tutak@polsl.pl

## ANALIZA PORÓWNAWCZA ILOŚCI UJĘTEGO METANU PRZEZ KOPALNIE WĘGLA KAMIENNEGO

**Streszczenie.** Procesowi podziemnej eksploatacji węgla kamiennego towarzyszy wydzielanie się metanu. Zjawisko to występuje we wszystkich krajowych kopalniach. Intensywność wydzielania się tego gazu ze złóż węgla kamiennego z roku na rok wzrasta. Jego część jest przechwytywana przez instalacje odmetanowujące i wykorzystywana do celów gospodarczych. Gospodarcze wykorzystanie metanu przez polskie kopalnie węgla kamiennego w 2016 roku wynosiło 168,14 mln m<sup>3</sup>/rok. Oznacza to, że około 30-31% metanu ujęte zostało za pomocą instalacji odmetanowania, a 69-70% wyemitowano do środowiska naturalnego.

W artykule przedstawiono wyniki analizy mającej na celu identyfikację kopalń jednorodnych pod względem ilości ujmowanego metanu z górotworu systemami odmetanowania oraz jego gospodarczego wykorzystania. Analizę przeprowadzono na podstawie danych z 2016 roku. Objęła ona swoim zakresem 21 kopalń węgla kamiennego. Szczegółowe badania przeprowadzono, wykorzystując jedną z metod hierarchicznych grupowania, jaką jest metoda algorytmu aglomeracji. Zastosowanie tej metody pozwoliło wyodrębnić jednorodne podzbiory analizowanych obiektów (kopalń), dla których jako miarę odległości między kopalniami przyjęto odległość euklidesową.

**Słowa kluczowe:** ujęcie metanu, kopanie węgla kamiennego, algorytm aglomeracji

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE QUANTITY OF METHANE COLLECTED BY HARD COAL MINES

**Abstract.** Underground hard coal exploitation is accompanied by the release of methane. This phenomenon is present in all the mines across the country. The intensity of methane release from hard coal deposits increases year by year. Part of this gas is collected by demethylation systems and used for industrial purposes. The industrial utilisation of methane by Polish hard coal mines in 2016 amounted to 168.14 million m<sup>3</sup>/year. This means that approximately 30-31% of the methane

was collected by means of demethylation systems, whereas 69-70% was emitted into the environment.

The paper presents the results of an analysis aiming to identify homogeneous mines in terms of the quantity of methane collected from the rock mass by means of demethylation systems and its industrial utilisation. The analysis was carried out on the basis of 2016 data and it encompassed 21 hard coal mines. The detailed analysis was conducted using one of the hierarchical grouping methods, namely the agglomeration algorithm method. This method made it possible to isolate homogeneous subsets of items under analysis (mines), adopting the Euclidean distance as a measure of distance between the mines.

**Keywords:** methane collected, coal mines, agglomeration algorithm

## 1. Wprowadzenie

Podziemnej eksploatacji węgla kamiennego w większości kopalń towarzyszy wydzielanie się metanu<sup>1</sup>. Intensywność wydzielania się tego gazu ze złóż węgla kamiennego z roku na rok wzrasta, do czego przyczyniają się zwiększona głębokość wydobywania, coraz większa metanonośność pokładów oraz coraz większe ciśnienie złożowe gazów<sup>2</sup>.

Metanowość bezwzględna polskich kopalń węgla kamiennego jest bardzo wysoka – w 2016 roku wynosiła ona ponad 933,76 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, przy czym podziemnym systemem odmetanowania ujęto około 342,1 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, a z powietrzem wentylacyjnym do atmosfery odprowadzono około 591,66 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub><sup>3</sup>.

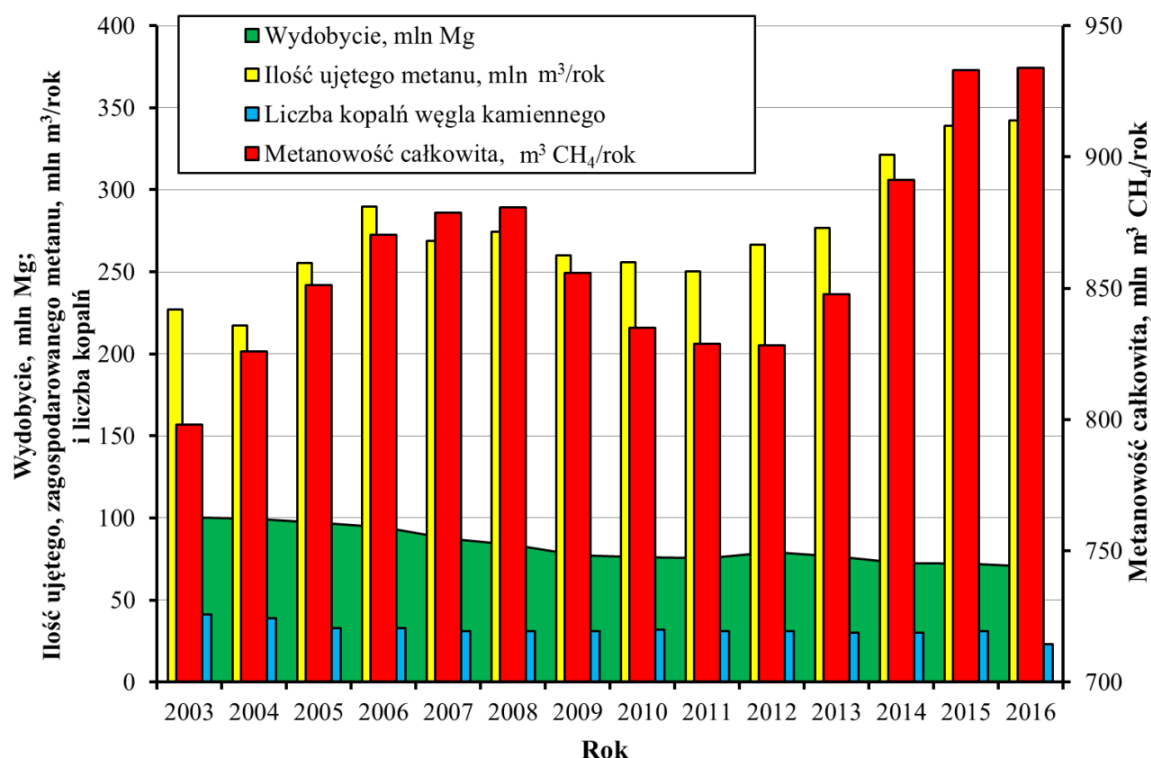
Na rysunku 1 przedstawiono wykres ilustrujący kształtowanie się metanowości całkowitej, ilości ujętego metanu oraz wielkości wydobywania w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003-2016.

---

<sup>1</sup> Brodny J., Tutak M.: Analysis of methane emission into the atmosphere as a result of mining activity. SGEM 2016, p. 83-90, DOI: 10.5593/SGEM2016/HB43/S06.012; Brodny J., Tutak M.: Determination of the zone endangered by methane explosion in goaf with caving of operating longwalls. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2016, p. 299-306, DOI: 10.5593/SGEM2016/B12/S03.039; Brodny J., Tutak M.: Numerical simulation as an instrument of supporting assessments methane hazard in coal mine. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 100, Gliwice 2017, s. 45-59, DOI: 10.29119/1641-3466.2017.100.2; Nawrat S.: Możliwości wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń węgla. "Miesięcznik WUG", nr 5, Katowice 2006; Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K.: Utylizacja metanu z pokładów węgla w polskich kopalniach podziemnych. Uczelniane Wydawnictwa AGH, Kraków 2009; Tutak M.: Analysis of varying levels of methane emissions from coal mines in Poland. SGEM 2017, p. 301-308, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S19.038; Tutak M.: Numeryczna mechanika płynów (CFD) w ocenie zagrożenia metanowego wyrobisk górniczych. „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji”, Vol. 6, Iss. 7, 2017, s. 255-266.

<sup>2</sup> Tutak M.: Numeryczna..., op.cit.; Nawrat S.: op.cit.; Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K.: op.cit.

<sup>3</sup> Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego – 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.



Rys. 1. Kształtowanie się metanowości całkowitej, ilości ujętego metanu oraz wielkości wydobywania w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003-2016

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego – 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.

Z przedstawionych na rysunku 1 danych jednoznacznie wynika, że mimo zmniejszania wydobywania metanowość całkowita nie zmniejsza się, a w latach 2012-2016 uległa stopniowemu zwiększeniu. Mimo zainstalowanych na kopalniach urządzeń do wychwytywania metanu, który mógłby zostać użyty do celów gospodarczych, kopalnie w niewielkim stopniu wykorzystują ten potencjał. Tylko około 30-31% metanu ujmowane jest za pomocą odmetanowania, a 69-70% emitowane jest do środowiska naturalnego (w tym metan ujmowany instalacjami odmetanowania)<sup>4</sup>.

Gaz ujmowany w wyniku odmetanowania może być emitowany do atmosfery, gdy jego wykorzystanie gospodarcze jest niemożliwe, lub też może być wykorzystywany jako paliwo niskometanowe w różnego rodzaju instalacjach ciepłowniczo-energetycznych<sup>5, 6</sup> oraz jako gaz dodawany do gazu ziemnego, spalany w silnikach gazowych lub kotłach węglowych z palnikami gazowymi<sup>7</sup>.

Jednak wbrew stopniowemu rozwojowi instalacji odmetanowania zainstalowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego gospodarcze wykorzystanie tego gazu utrzymuje

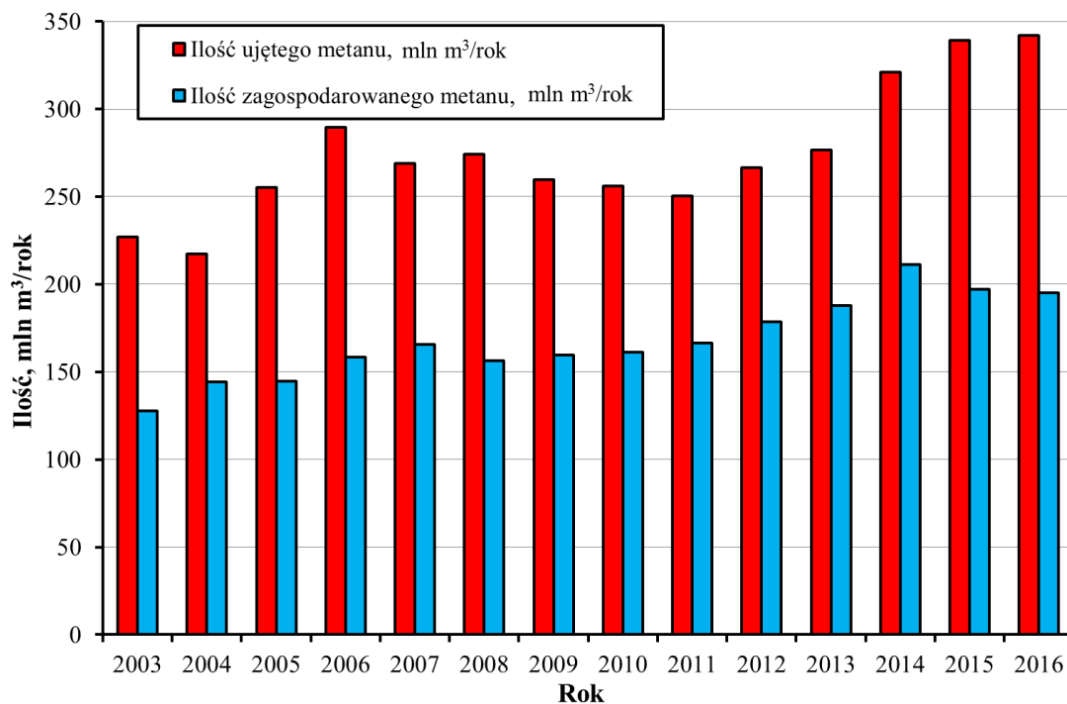
<sup>4</sup> Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K.: op.cit.; Patyńska R. (red.): op.cit.

<sup>5</sup> Brodny J., Tutak M.: Analysis..., op.cit.

<sup>6</sup> Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K.: op.cit.

<sup>7</sup> Ibidem.

się na podobnym poziomie i średnio wynosi 168,14 mln m<sup>3</sup>/rok, pomimo zwiększenia ilości metanu ujmowanego przez te instalacje (rys. 2).



Rys. 2. Wielkości ujętego metanu i jego zagospodarowanie w latach 2003-2016

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego – 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.

Większość kopalń węgla kamiennego w Polsce wyposażona jest w instalacje do odmetanowania. Kopalnie te charakteryzują się różną wielkością ilości ujmowanego gazu, która jest zależna m.in. od metanowości bezwzględnej pokładów węgla, a tym samym różnym stopniem zagospodarowania ujętego metanu czy stratami tego gazu w instalacjach odmetanowania.

Zasadne jest zatem przeprowadzenie analizy pozwalającej na identyfikację jednorodnych kopalń pod względem ilości ujmowanego metanu z górotworu systemami odmetanowania. Dotychczas nie podjęto próby takiej identyfikacji.

Głównym celem artykułu jest analiza zróżnicowania ilości ujętego metanu przez kopalnie węgla kamiennego oraz jego gospodarczego wykorzystania. Analizę porównawczą przeprowadzono dla 2016 roku. W jej rezultacie dokonano identyfikacji jednorodnych kopalń o podobnym poziomie ujęcia metanu i jego zagospodarowania. Do analizy wykorzystano metodę algorytmu aglomeracji będącą metodą hierarchiczną.

## 2. Charakterystyka danych oraz wyznaczonych wskaźników

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej ilości ujmowanego metanu przez kopalnie węgla kamiennego oraz jego gospodarczego zagospodarowania zostały wykorzystane dane pochodzące z Raportu rocznego o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego w 2016 roku<sup>8</sup>. Analizę klasyfikacyjną przeprowadzono dla 21 kopalń węgla kamiennego.

Dysponując zbiorem danych przedstawionych w tabeli 1, do badań zostały wykorzystane 4 wskaźniki określające:

- całkowitą ilość metanu ujmowaną systemami odmetanowania,
- zagospodarowanie metanu przez kopalnie,
- straty metanu w instalacjach odmetanowania,
- efektywność odmetanowania.

Tabela 1

Kształtowanie ujęcia metanu i jego zagospodarowanie w 2016 roku

KWK	Odmetanowanie, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Zagospodarowanie metanu, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Straty z instalacji odmetanowania, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Efektywność odmetanowania, %
Ruda Ruch Bielszowice	3,19	0,82	2,37	25,71
Ruda Ruch Halemba	1,88	1,84	0,04	97,87
Ruda Ruch Pokój	0	0	0	0
ROW Ruch Jankowice	6,3	2,92	2,15	28,795
ROW Ruch Chwałowice	3,84	2,92	2,15	28,795
ROW Ruch Marcel	5,77	4,47	1,3	77,47
ROW Ruch Rydułtowy	8,65	0,79	7,86	9,13
Knurów Szczygłowice	28,46	7,69	20,77	27,02
Bolesław Smiały	0	0	0	0
Sośnica	8,33	5,09	3,24	61,1
SRK Makoszowy	0	0	0	0
Brzeszcze	27,68	27,66	0,02	99,93
Silesia	18,18	3,82	14,36	21,01
Murcki-Staszic	14,59	8,45	6,14	57,92
Mysłowice- Wesoła	22,53	13,59	8,94	60,32
Wujek	10,9	7,72	3,18	70,83
Wieczorek	0	0	0	0
Budryk	68,9	19,05	49,85	27,65

<sup>8</sup> Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego - 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.

cd. tabeli 1

Borynia-Zofiówka-Jastrzębie	31,81	25,19	6,62	79,19
Pniówek	34	30,7	3,3	90,29
Krupiński	47,07	32,28	14,79	68,58
<b>Średnia</b>	16,29	9,29	7,00	44,36
<b>Odchylenie standardowe</b>	18,10	10,94	11,36	34,24
<b>Współczynnik zmienności, %</b>	111,10	117,81	162,25	77,18

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego – 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.

Wskaźniki te zostały poddane wstępnej obróbce statystycznej, obliczono także współczynnik zmienności oraz współczynnik korelacji.

Przedstawiony w tabeli 1 zbiór charakteryzuje się dużą rozpiętością współczynnika zmienności – od 77,18% do 162,25%. Największą wartość tego współczynnika mają zmienne straty z instalacji odmetanowania oraz zagospodarowanie metanu. Zmienne przedstawione w tabeli 1 spełniają warunek cech diagnostycznych, które muszą oznaczać się znacznym zróżnicowaniem.

Wstępna analiza statystyczna objęła swoim zakresem obliczenie współczynnika korelacji i budowę macierzy tego współczynnika. Analiza współczynnika korelacji wykazała, że zmienne charakteryzują się różnym stopniem skorelowania (tabela 2).

Tabela 2

Macierz korelacji

	<b>Odmetanowanie, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	<b>Zagospodarowanie metanu, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	<b>Straty z instalacji odmetanowania, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	<b>Efektywność odmetanowania, %</b>
<b>Odmetanowanie, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	1	0,80288121	0,818914048	0,325409646
<b>Zagospodarowanie metanu, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	0,80288121	1	0,315965111	0,640563582
<b>Straty z instalacji odmetanowania, mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/rok</b>	0,818914048	0,315965111	1	-0,098418121
<b>Efektywność odmetanowania, %</b>	0,325409646	0,640563582	-0,098418121	1

Źródło: Opracowanie własne.

Standaryzację (przekształcenie, transformację) danych przedstawionych w tabeli 1 przeprowadzono zgodnie z zależnością (1)<sup>9</sup>:

<sup>9</sup> Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988. Ostasiewicz W. (red.): Statystyczne metody analizy danych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1999; Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft Polska, Kraków 2007.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S(x)}, \quad (1)$$

gdzie:

$\bar{x}$  – średnia,

$S(x)$  – odchylenie standardowe zmiennych.

Zmienna po standaryzacji ma rozkład normalny  $Z \sim N(0, 1)$ , czyli o średniej wartości równej zero i odchyleniu standardowym równym jeden<sup>10</sup>. Celem procesu standaryzacji danych było wyrażenie zmiennych w tej samej skali. Wyniki standaryzacji przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Dane standaryzowane – wielkości ujętego metanu i jego zagospodarowanie w 2016 roku

KWK	Odmetanowanie, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Zagospodarowanie metanu, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Straty z instalacji odmetanowania, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Efektywność odmetanowania, %
Ruda Ruch Bielszowice	-0,723855086	-0,773886621	-0,407784296	-0,544768924
Ruda Ruch Halemba	-0,796243226	-0,680644122	-0,612828851	1,562765
Ruda Ruch Pokój	-0,900128495	-0,848846277	-0,616348929	-1,2956655
ROW Ruch Jankowice	-0,552002326	-0,581916771	-0,427144726	-0,454667176
ROW Ruch Chwałowice	-0,687937307	-0,581916771	-0,427144726	-0,454667176
ROW Ruch Marcel	-0,581289131	-0,440224738	-0,501946388	0,96695441
ROW Ruch Rydułtowy	-0,422145739	-0,776629047	0,0753464355	-1,02901106
Knurów Szczygłowice	0,672517659	-0,145870968	1,21145167	-0,506508539
Bolesław Śmiały	-0,900128495	-0,848846277	-0,616348929	-1,2956655
Sośnica	-0,439828338	-0,383547925	-0,331222595	0,48884562
SRK Makoszowy	-0,900128495	-0,848846277	-0,616348929	-1,2956655
Brzeszcze	0,629416324	1,67967089	-0,61458889	1,62293018
Silesia	0,104464164	-0,499643978	0,647359141	-0,682039011
Murcki-Staszic	-0,0939124942	-0,0763961649	-0,0760169266	0,395969263
Mysłowice- Wesoła	0,344836995	0,393472897	0,170388547	0,466064627
Wujek	-0,297814965	-0,143128541	-0,336502713	0,773023905
Wieczorek	-0,900128495	-0,848846277	-0,616348929	-1,2956655
Budryk	2,90715612	0,892594508	3,77054852	-0,488108506
Borynia- Zofiówka- Jastrzębie	0,857632368	1,45387778	-0,0337759883	1,01718942
Pniówek	0,978647656	1,95757011	-0,325942478	1,34138048
Krupiński	1,70087131	2,10200456	0,685199982	0,707309502

Źródło: Opracowanie własne.

<sup>10</sup> Jain A.K., Dubes R.C.: op.cit.; Stanisław A: op.cit.

### 3. Charakterystyka metody badawczej

Jedną z podstawowych umiejętności wykorzystywanych w życiu codziennym każdego człowieka jest grupowanie podobnych obiektów w celu stworzenia ich klasyfikacji. Umiejętność ta jest szeroko stosowana także przez naukowców badających wpływ różnych czynników na badane zjawisko oraz wśród analityków danych. Bardzo często zarówno naukowcy, jak i analitycy w swojej pracy zmagają się z analizą zagadnień, która wymaga zestawienia znacznej ilości danych w podobne do siebie struktury pod względem wybranych, analizowanych cech<sup>11</sup>.

W takich sytuacjach szerokie zastosowanie znajdują metody taksonomiczne, a jedną z nich jest aglomeracyjna metoda grupowania danych – metoda Warda. Metoda ta należy do grupy procedur G.M. Lance’a, W.T. Williamsa i J.H. Warda. Punktem początkowym jest macierz  $D$  euklidesowych odległości  $d_{ij}$  między klasyfikowanymi obiektami. Algorytm metody jest następujący<sup>12</sup>:

- każdy obiekt  $O_i$  ( $i=1, 2 \dots n$ ) traktowany jest jako grupa jednoelementowa,
- w macierzy odległości poszukiwana jest wartość minimalna:  $d_{pq} = \min \{d_{ij}\}$ ,
- obiekty  $O_p$  i  $O_q$  traktowane są jako grupy jednoelementowe,  $A_p$  i  $A_q$  łączy się w grupę dwuelementową  $A_r: A_r = A_p \cup A_q$ ,
- odległość  $d_{ir}$  nowo utworzonej grupy  $A_r$  wyznaczana jest od wszystkich pozostałych grup  $A_i$ . odległość  $d_{ir}$  wstawiana jest do macierzy  $D$  w miejsce  $p$ -tego wiersza i  $p$ -tej kolumny, eliminując jednocześnie wiersz i kolumnę o numerze  $q$ ,
- kroki 2-4 powtarzane są do momentu, w którym wszystkie obiekty utworzą jedną grupę.

Ogólna formuła na przekształcenie macierzy odległości podczas łączenia grup  $A_p$  i  $A_q$  w nową grupę  $A_r$  dla hierarchicznych metod aglomeracyjnych działających według zasady centralnej procedury aglomeracyjnej przyjmuje postać:

$$d_{ir} = a_p d_{ip} + a_q d_{iq} + b d_{pq} + c [d_{ip} - d_{iq}] \quad (2)$$

gdzie:

$d_{ir}$  – odległość między grupami  $A_i$ ,

$A_r, d_{ip}$  – odległość między grupami  $A_i$  oraz  $A_p$ ,

$d_{iq}$  – odległość między grupami  $A_i$ ,

$A_q, d_{pq}$  – odległość między grupami  $A_p$  oraz  $A_q$ ,

$a_p, a_q, b, c$  – parametry przekształcenia.

<sup>11</sup> Bluszcz A.: European economies in terms of energy dependence. "Qual. Quant.", Vol. 51, No. 4, 2017, p. 1531-1548; Kijewska A., Bluszcz A.: Analysis of greenhouse gas emissions in the European Union member states with the use of an agglomeration algorithm. "J. Sust. Min.", Vol. 15, Iss. 4, 2016, p. 133-142; Tutak M.: Analysis..., op.cit.; Tutak M., Brodny J.: Degree of use of alternative sources for energy production for the economical aims in EU countries. SGEM 2017, p. 635-642, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S29.080.

<sup>12</sup> Jain A.K., Dubes R.C.: op.cit.; Ostasiewicz W. (red.): op.cit.; Stanisław A.: op.cit.; Stec M., Janas A., Kuliński A.: Grupowanie państw Unii Europejskiej ze względu na zasoby kapitału ludzkiego i intelektualnego. Zeszyt, nr 6, 2011, s. 135-146, www.univ.rzeszow.pl/pliki/Zeszyt6/11\_Stec\_Janas\_Kulinski.pdf.



W metodzie Warda parametry przekształcenia przyjmują postać<sup>13</sup>:

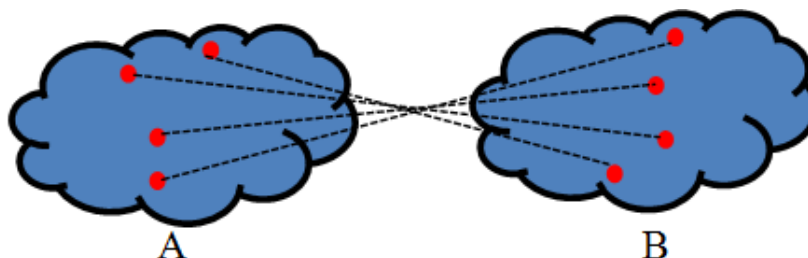
$$a_p = \frac{N_i + N_p}{N_i + N_r} \quad (3)$$

$$a_q = \frac{N_i + N_q}{N_i + N_r} \quad (4)$$

$$a_q = \frac{N_i}{N_i + N_r} \quad (5)$$

$$c = 0 \quad (6)$$

Metoda Warda do oszacowania odległości między skupieniami wykorzystuje podejście analizy wariancji. Mówiąc krótko, metoda ta zmierza do minimalizacji sumy kwadratów odchyień dowolnych dwóch skupień, które mogą zostać uformowane na każdym etapie.



Rys. 3. Dystans pomiędzy obiektami w metodzie Warda

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Jain A.K., Dubes R.C.: *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, 1988; Kijewska A., Bluszcz A.: *Analysis of greenhouse gas emissions in the European Union member states with the use of an agglomeration algorithm*. "J. Sust. Min.", Vol. 15, Iss. 4, 2016, p. 133-142.

Rezultatem przeprowadzonej analizy jest dendrogram, czyli graficzna interpretacja uzyskanych wyników. W zależności od przyjętych założeń, w tym akceptowanej odległości taksonomicznej między obiektami ze względu na analizowany zestaw cech, można wyróżnić większe lub mniejsze skupienia, a zatem mniejszą lub większą liczbę tych skupień.

W metodzie aglomeracji Warda przy formowaniu skupień wykorzystywane są miary rozbieżności lub odległości pomiędzy obiektami. Jedną z takich metod, odległości najczęściej stosowanych w praktyce jest odległość euklidesowa. Odległość euklidesowa to po prostu odległość geometryczna w przestrzeni wielowymiarowej, która jest obliczana następująco<sup>14</sup>:

$$D_{XY} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (7)$$

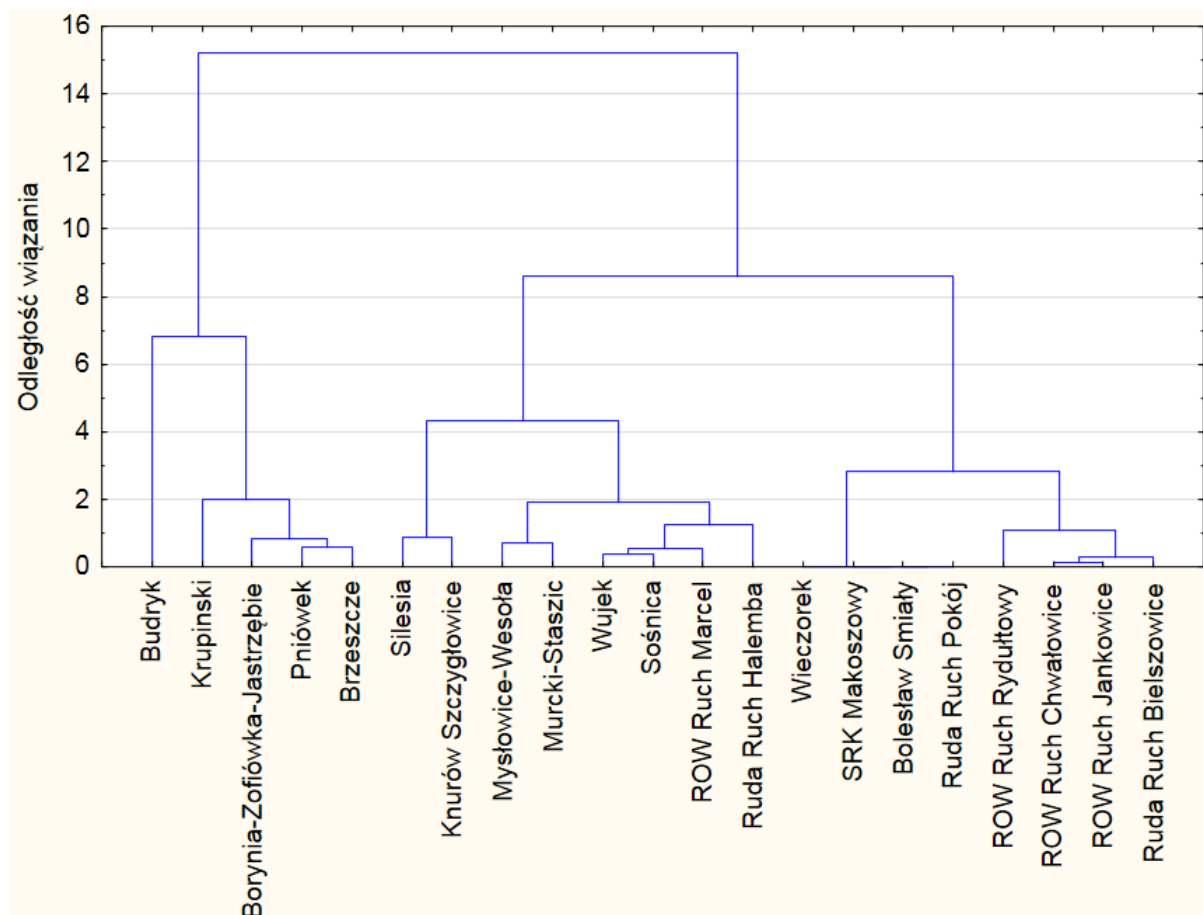
gdzie:  $X = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ ,  $Y = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in})$  – obiekty w przestrzeni  $n$ -wymiarowej.

<sup>13</sup> Ibidem.

<sup>14</sup> Jain A.K., Dubes R.C.: op.cit.

## 4. Wyniki analizy

Wyniki grupowania algorytmem aglomeracji według metody Warda wykorzystującej odległość euklidesową jako miarę odległości pomiędzy kopalniami węgla kamiennego przedstawiono na rysunku 4 (dendogram).



Rys. 4. Dendrogram kopalń węgla kamiennego pod względem ilości ujmowanego i zagospodarowanego metanu w 2016 roku

Źródło: Opracowanie własne.

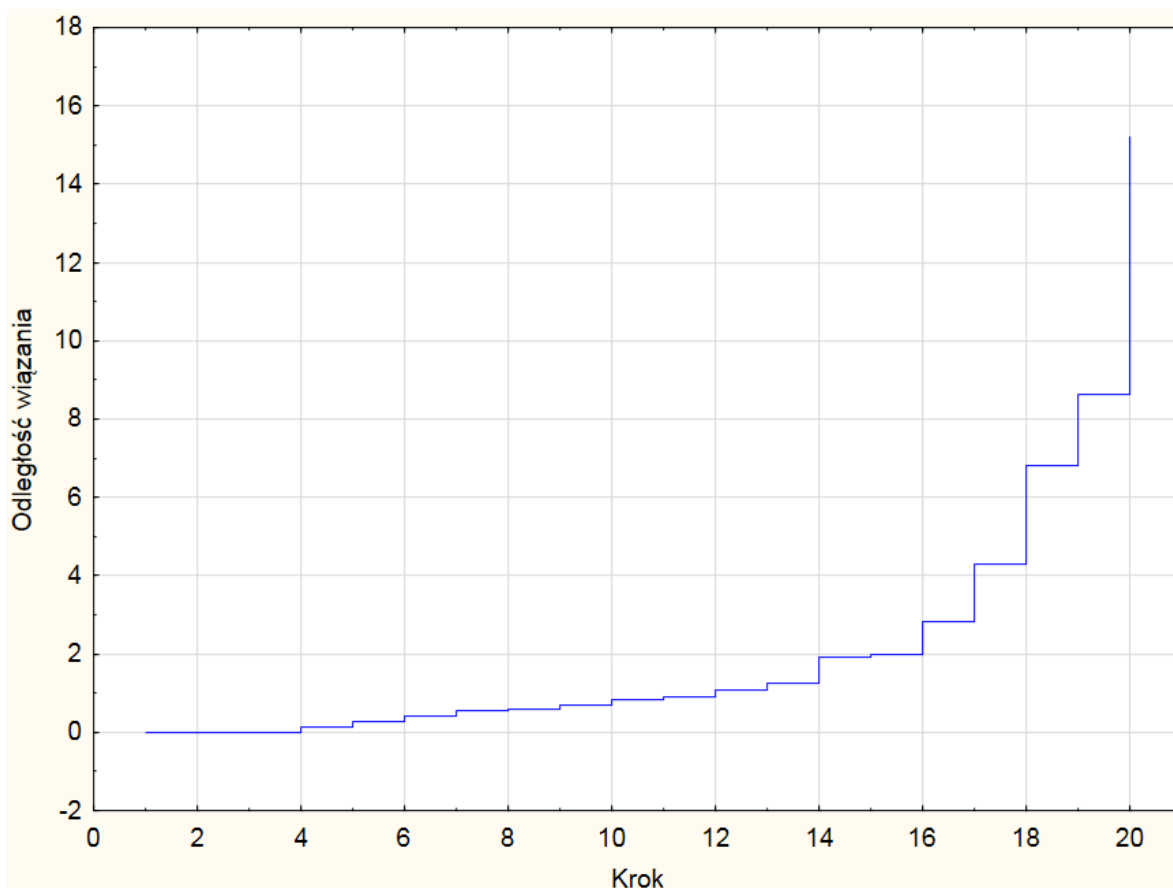
Na podstawie przeprowadzonych analiz zbudowano model grupowania kopalń węgla kamiennego ze względu na zróżnicowanie ilości ujętego i zagospodarowanego metanu.

Podział na klastry przedstawia się następująco:

- Klaster 1: KWK Budryk,
- Klaster 2: KWK Krupiński,
- Klaster 3: KWK Pniówek, KWK Brzeszcze, KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie,
- Klaster 4: KWK Knurów-Szczygłowie, PG Silesia,
- Klaster 5: KWK Mysłowice-Wesoła, KWK Murcki-Staszic,

- Klaster 6: KWK Wujek, KWK Sośnica, KWK ROW Ruch Marcel, KWK Ruda Ruch Halemba,
- Klaster 7: SKR Makoszowy, KWK Bolesław Śmiały, KWK Wieczorek, KWK Ruda Ruch Pokój,
- Klaster 8: KWK ROW Ruch Chwałowice, KWK ROW Ruch Rydułtowy, KWK Ruda Ruch Bielszowice, KWK ROW Ruch Jankowice.

Na rysunku 5 przedstawiono wykres przebiegu budowy modelu aglomeracji.



Rys. 5. Przebieg budowy modelu aglomeracji

Źródło: Opracowanie własne.

Wykres przebiegu budowy modelu aglomeracji przedstawia odległości wiązań pod względem etapów wiązania (pomaga identyfikować miejsca, w których formuje się wiele skupień w przybliżeniu w takiej samej odległości wiązania). Podczas budowy modelu aglomeracji można zauważyć w 14 kroku analizy przyrost długości wiązania. Punkt ten jest punktem odcięcia dendrogramu.

Podczas budowy modelu grupowań kopalnie podzielono na 9 klastrów. Dla każdego z nich obliczono średnie wartości odmetanowania, efektywności odmetanowania, zagospodarowania metanu oraz strat w instalacjach odmetanowania.

Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że w klastrze 1 znalazła się kopalnia o największym udziale odmetanowania, a w klastrze 7 – kopalnie, w których w ogóle nie ujmowano metanu instalacjami odmetanowania. Kopalnia znajdująca się w klastrze 1 ma także największy udział w stratach metanu w instalacjach odmetanowania. Z kolei kopalnia z klastra 2 cechuje się największą ilością zagospodarowanego metanu ujętego instalacją odmetanowania.

Tabela 4

Średnie wartości odmetanowania, efektywności odmetanowania, zagospodarowania metanu oraz strat w instalacjach odmetanowania w klastrach

	Odmetanowanie, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Zagospodarowanie metanu, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Straty z instalacji odmetanowania, mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok	Efektywność odmetanowania, %
<b>Klaster 1</b>	68,9	19,05	49,85	27,65
<b>Klaster 2</b>	47,07	32,28	14,79	68,58
<b>Klaster 3</b>	31,16	27,85	3,31	89,80
<b>Klaster 4</b>	23,32	5,755	17,565	24,015
<b>Klaster 5</b>	18,56	11,02	7,54	59,12
<b>Klaster 6</b>	6,72	4,78	1,94	76,82
<b>Klaster 7</b>	0	0	0	0
<b>Klaster 8</b>	5,50	1,86	3,63	23,11

Źródło: Opracowanie własne.

Kopalnie znajdujące się w klastrze 8 charakteryzują się z kolei najmniejszymi wartościami ilości ujmowanego metanu (odmetanowania), zagospodarowania ujętego metanu oraz efektywności odmetanowania.

## 5. Wnioski

Eksploatacja węgla kamiennego w polskich kopalniach węgla kamiennego prowadzona jest głównie w pokładach metanowych. Jednym z najskuteczniejszych środków profilaktycznych w zakresie zwalczania zagrożenia metanowego tym gazem jest odmetanowanie górotworu, które pozwala na ujęcie gazu o dobrych parametrach do gospodarczego wykorzystania. Mimo znacznego rozwoju technologii odmetanowania tylko niewielka jego część ujmowana jest tymi systemami. Niestety kopalnie w wyniku prowadzonej działalności znaczną część metanu emitują do środowiska naturalnego.

W artykule przedstawiono analizę zróżnicowania ilości ujętego metanu przez kopalnie węgla kamiennego oraz jego gospodarczego wykorzystania w 2016 roku. Głównym celem przeprowadzonej analizy było zbadanie różnorodności polskich kopalń węgla kamiennego pod względem ujmowania metanu systemami odmetanowania i jego zagospodarowania oraz efektywności i strat metanu w procesie odmetanowania górotworu. Analizę przeprowadzono, wykorzystując hierarchiczną metodę algorytmu aglomeracji.

W badanym przypadku kopalnie węgla kamiennego zostały zgrupowane w 8 klastrów. Zgrupowane kopalnie pod względem ujmowania metanu i jego zagospodarowania są względem siebie najbardziej podobne.

Przedstawiona analiza wykazała, że kopalnie zgrupowane w klastrze 1 cechują się największą ilością ujmowanego metanu, a kopalnie zgrupowane w klastrze 8 – najmniejszą. Z kolei w klastrze 7 znalazły się kopalnie, których procesu odmetanowania w ogóle nie prowadzono.

Przedstawiona metoda i uzyskane wyniki powinny stanowić istotne źródło informacji o ilości ujmowanego i zagospodarowanego metanu przez górnictwo węglowe.

## Bibliografia

1. Bluszcz A.: European economies in terms of energy dependence. "Qual. Quant." Vol. 51, No. 4, 2017.
2. Brodny J., Tutak M.: Analysis of methane emission into the atmosphere as a result of mining activity. SGEM 2016, DOI: 10.5593/SGEM2016/HB43/S06.012.
3. Brodny J., Tutak M.: Determination of the zone endangered by methane explosion in goaf with caving of operating longwalls. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2016, DOI: 10.5593/SGEM2016/B12/S03.039.
4. Brodny J., Tutak M.: Numerical simulation as an instrument of supporting assessments methane hazard in coal mine. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 100. Gliwice 2017, dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2017.100.2.
5. Jain A.K., Dubes R.C.: Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988.
6. Kijewska A., Bluszcz A.: Analysis of greenhouse gas emissions in the European Union member states with the use of an agglomeration algorithm. "J. Sust. Min.", Vol. 15, Iss. 4, 2016, DOI: 10.1016/j.jsm.2017.02.001.
7. Nawrat S., Kuczera Z., Łuczak R., Życzkowski P., Napieraj S., Gatnar K.: Utylizacja metanu z pokładów węgla w polskich kopalniach podziemnych. Uczelniane Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.
8. Nawrat S.: Możliwości wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego podziemnych kopalń węgla. „Miesięcznik WUG”, nr 5, Katowice 2006.
9. Ostasiewicz W. (red.): Statystyczne metody analizy danych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1999.
10. Patyńska R. (red.): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego – 2016. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.

11. Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft Polska, Kraków 2007.
12. Stec M., Janas A., Kuliński A.: Grupowanie państw Unii Europejskiej ze względu na zasoby kapitału ludzkiego i intelektualnego. Zeszyt, nr 6, 2011, [http://www.univ.rzeszow.pl/pliki/Zeszyt6/11\\_Stec\\_Janas\\_Kulinski.pdf](http://www.univ.rzeszow.pl/pliki/Zeszyt6/11_Stec_Janas_Kulinski.pdf).
13. Tutak M., Brodny J.: Degree of use of alternative sources for energy production for the economical aims in EU countries. SGEM 2017, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S29.080.
14. Tutak M.: Analysis of varying levels of methane emissions from coal mines in Poland. SGEM 2017. 27-29 November 2017, DOI: 10.5593/sgem2017H/43/S19.038.
15. Tutak M.: Numeryczna mechanika płynów (CFD) w ocenie zagrożenia metanowego wyrobisk górniczych. „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji”, Vol. 6, Iss. 7, 2017.