

Piotr Broda*, Jan Kwarciański, Kazimierz Twardowski*****

**BADANIE WPLYWU MIEJSCA POBRANIA
I SORTYMENTU PRÓB WĘGLA
NA OCENY JEGO METANONOŚNOŚCI******

1. WPROWADZENIE

Rzeczywista emisja metanu węglowego do atmosfery spowodowana eksploatacją węgla kamiennego w kopalniach metanowych obejmuje [4, 7]:

- metan emitowany poprzez system wentylacyjny (emisja wentylacyjna) oraz metan ujmowany systemami odmetanowania — ilości monitorowane;
- emisję metanu z węgla w procesach poeksploatacyjnych na powierzchni w trakcie wzbogacania, transportu i składowania, a także emisję z mineralnych odpadów poprodukcyjnych – ilości nieznane, podlegające przybliżonym ocenom szacunkowym.

Prezentowana praca przedstawia rezultaty opracowania statystycznego zbioru wyników badań laboratoryjnych zawartości metanu desorbowlanego w eksploatowanym węglu w trakcie całej drogi technologicznej urobku węglowego, zarówno w kopalni na dole, jak i na powierzchni, w szczególności w trakcie jego składowania, z punktu widzenia wyjaśnienia roli miejsca pobrania oraz uziarnienia badanych prób węgla.

Wykonane badania laboratoryjne dotyczące procesu desorpcji metanu węglowego objęły:

- wytypowany pokład węgla z metanowej kopalni „Budryk”;
- próby węglowe pobierane w sześciu różnych punktach drogi technologicznej urobku węglowego – miejsca pobrania:
 - I – z taśmociągu tuż przy kombajnie węglowym,
 - II – z taśmociągu przy wysypie urobku do skipu,
 - III – z taśmociągu przy wysypie urobku do skipu, po czasie ok. 60 minut,
 - IV – na powierzchni przy wysypie urobku ze skipu,
 - V – po wyjściu urobku węglowego z zakładu wzbogacania,
 - VI – po 10÷25 (średnio ok. 18) dniach składowania węgla;

* Doktorant Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Górnosląski, Sosnowiec

*** Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

**** Praca wykonana częściowo w ramach badań statutowych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH

- próby węglowe różniące się uziarnieniem – badano pięć następujących klas ziarnowych:
 - a – uziarnienie > 31 mm,
 - b – uziarnienie $[31 \div 16)$ mm,
 - c – uziarnienie $[16 \div 12)$ mm,
 - d – uziarnienie $[12 \div 5)$ mm,
 - e – uziarnienie ≤ 5 mm.

Łącznie zbiór opracowywanych danych posiadał liczebność $N = 6 \times 5 = 30$.

Zasadniczym celem analizy statystycznej powyższych danych było zbadanie jednorodności statystycznej zbiorów pomiarów zawartości metanu desorbowlanego w próbach węglowych w zależności od czynników je różnicujących, tj. miejsca pobrania oraz uziarnienia. Cel ten realizowano wykorzystując analizę wariancji z klasyfikacją pojedynczą [1, 6, 8].

2. TEORETYCZNE PODSTAWY ANALIZY WARIANCJI Z KLASYFIKACJĄ POJEDYNCZĄ

Analiza wariancji znana często pod kryptonimem ANOVA (*analysis of variance*), polega na wnioskowaniu statystycznym wykorzystującym testy oparte na ilorazach wariancji w celu określenia, czy istnieją istotne różnice między średnimi wielu grup obserwacji pochodzących z populacji o rozkładach normalnych.

Analiza wariancji jest szczególnie użyteczna, gdy zasadnicze różnice między grupami obserwacji nie mogą być ustalone w sposób ilościowy. Jeżeli badamy wpływ jednej niezależnej (zewnętrznej) zmiennej na interesującą nas zmienną zależną, mówimy o analizie wariancji z klasyfikacją pojedynczą.

W przypadku zależności od wielu zmiennych niezależnych mamy do czynienia z analizą wariancji z klasyfikacją wielokrotną. W praktyce termin zmienna niezależna lub zewnętrzna odnosi się do czynnika (*factor*), zabiegu (*treatment*) lub metody (*method*).

Układ hipotez testowanych w analizie wariancji:

$$H_0 : m_1 = m_2 = \dots = m_k = m \quad (1)$$

$$H_1 : \text{nie wszystkie } m_i \ (i = 1, 2, \dots, k) \text{ są sobie równe,}$$

gdzie m_i oznacza średnią i -tej grupy obserwacji.

Przedmiotem badania jest k populacji (poziomów czynnika), z których pobierane są niezależne od innych próby losowe.

Założenia wymagane przy stosowaniu analizy wariancji:

- próby zostały pobrane niezależnie od siebie z każdej z k populacji,
- w każdej z k badanych populacji rozkład jest normalny o tej samej wariancji σ^2 .

Analiza wariancji z klasyfikacją pojedynczą (jednokryteriową lub jednoczynnikową) (*one-way analysis of variance*) wykorzystywana jest do wykrywania możliwego wpływu pewnego czynnika A (zastosowanego na kilku poziomach) na badaną cechę ilościową populacji generalnej. Układ wyników obserwacji przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Układ wyników obserwacji w analizie wariancji z klasyfikacją pojedynczą

Poziomy czynnika A $i \downarrow$	Replikacje – wyniki badania dla danego poziomu czynnika A $j \rightarrow 1 \ 2 \ \dots \ n_i$
1	$y_{11} \ y_{12} \ \dots \ y_{1n_1}$
2	$y_{21} \ y_{22} \ \dots \ y_{2n_2}$
.	...
.	...
.	...
k	$y_{k1} \ y_{k2} \ \dots \ y_{kn_k}$

Zespół obserwacji odnoszący się do ustalonego poziomu czynnika A nazywamy grupą. Wielkość y_{ij} ($j = 1, \dots, n_i; i = 1, \dots, k$) oznacza j -ty pomiar wielkości y w grupie o numerze i . Układ wyników, w którym każda grupa zawiera jednakową liczbę pomiarów ($n_i = \text{const}$ dla $i = 1, \dots, k$), nazywa się układem zrównoważonym (*balanced design*).

Model ANOVA, w którym poziomy badanych czynników są z góry ustalone, nosi nazwę modelu o ustalonych efektach (*fixed-effects model*). Wnioski uzyskane w oparciu o tego typu model są ważne tylko w odniesieniu do zbadanych poziomów.

Szczegółowe opisy dotyczące praktycznej realizacji procedury analizy wariancji z klasyfikacją pojedynczą znaleźć można w podręcznikach, np. [1, 6, 8]. Przy ocenie wyników sprawdzianów uzyskiwanych w trakcie testowania hipotez statystycznych często operuje się wartością p najniższego poziomu istotności α , przy którym hipoteza zerowa H_0 mogłaby być odrzucona przy otrzymanej wartości sprawdzianu. Inaczej mówiąc, wartość (poziom) p oznacza w praktyce prawdopodobieństwo nieodrzućcenia hipotezy H_0 w sytuacji, gdy jest ona prawdziwa.

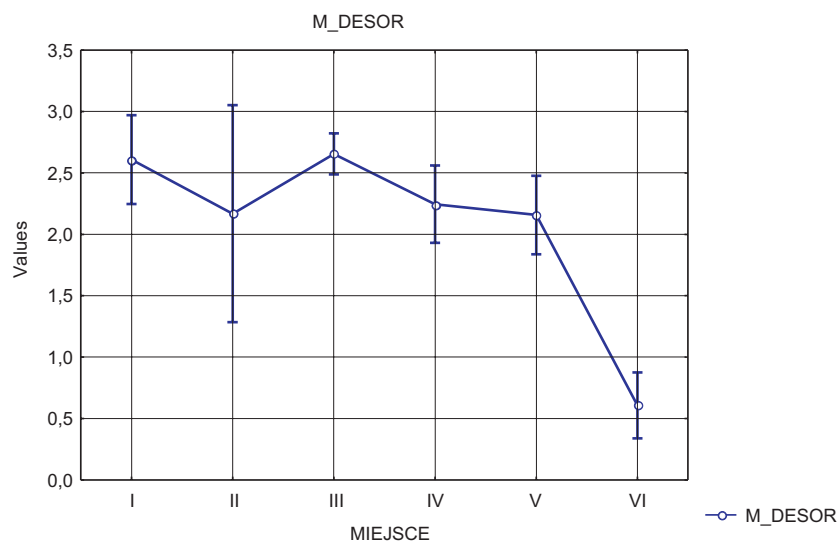
3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Wpływ miejsca pobrania próby na metanonośność desorbowlaną (tab. 2, rys. 1)

Tabela 2

Zestawienie średnich grupowych M_{des} ($N = 30$)

Breakdown table of Descriptive Statistics $N = 30$ (No missing data in dep. var. list)					
Miejsce	M_DESOR Means	M_DESOR n	M_DESOR Std. Dev.	M_DESOR Variance	M_DESOR Std. Err.
I	2,608683	5	0,291548	0,085000	0,130384
II	2,168062	5	0,711965	0,506895	0,318401
III	2,654813	5	0,134502	0,018091	0,060151
IV	2,245584	5	0,253884	0,064457	0,113541
V	2,157612	5	0,257602	0,066359	0,115203
VI	0,607112	5	0,216547	0,046893	0,096843
All grps	2,073644	30	0,771298	0,594901	0,140819



Rys. 1. Zestawienie średnich grupowych metaności desorbowlanej wraz z przedziałami ufności (95%)

3.1.1. Test jednorodności wariancji w grupach

Hipoteza zerowa:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_{II}^2 = \sigma_{III}^2 = \sigma_{IV}^2 = \sigma_V^2 = \sigma_{VI}^2 = \sigma^2 \quad (\alpha = 0,05).$$

Testy jednorodności wariancji:

	Hartleya F-maks	Cochrana C	Bartletta Chi-kwad	df	p
M_DESOR	28,01945	0,643517	12,71866	5	0,026183

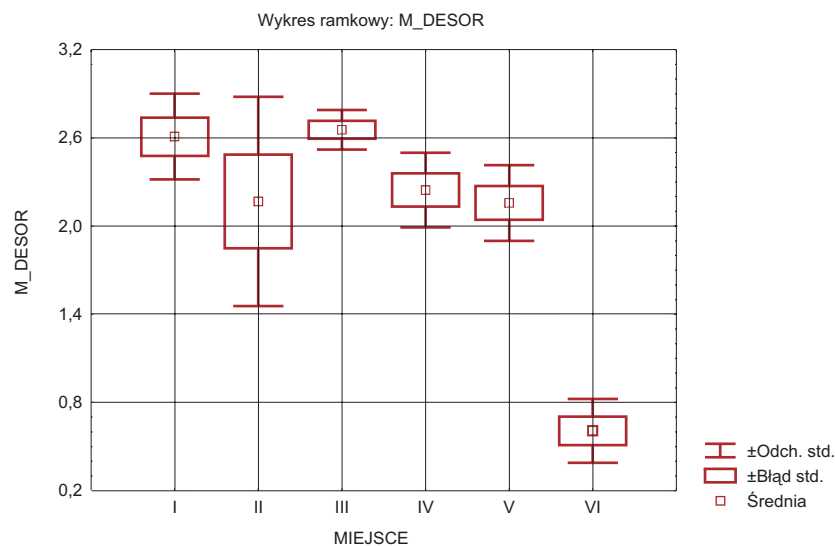
Przeprowadzony test wykazał, że hipotezę o jednorodności wariancji przy poziomie istotności testowania $\alpha = 0,05$ należy odrzucić. Jednak ze względu na brak współzależności średnich i wariancji w grupach ($r = 0,074$; zależność nieistotna na poziomie istotności 0,05) stosowanie metody analizy wariancji z klasyfikacją pojedynczą jest wyjątkowo do zaakceptowania.

3.1.2. Hipoteza o równości średnich m w grupach I–VI

$$H_0: m_I = m_{II} = m_{III} = m_{IV} = m_V = m_{VI} = m \quad (\alpha = 0,05).$$

Podst. statyst.	Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05000$								
	Zmienna	SK pom. z grupami	df grup	ŚK pom. grupami	SK reszt.	df reszt.	ŚK reszt.	F	p
M_DESOR		14,10134	5	2,820268	3,150780	24	0,131282	21,48244	0,000000

Hipotezę zerową o braku wpływu czynnika związanego z miejscem pobrania próby węgla na metanoność desorbowlaną należy odrzucić (rys. 2).



Rys. 2. Wykres „pudełko z wąsami” metanoności desorbowlanej

3.1.3. Test grup jednorodnych

$H_0 : E(SSB) = 0$ (kwadrat różnic średnich międzygrupowych = 0) ($\alpha = 0,05$).

Różnice średnich między grupami oznaczone gwiazdką * (tab. 3) są statystycznie istotne na przyjętym poziomie istotności testowania $\alpha = 0,05$.

Tabela 3

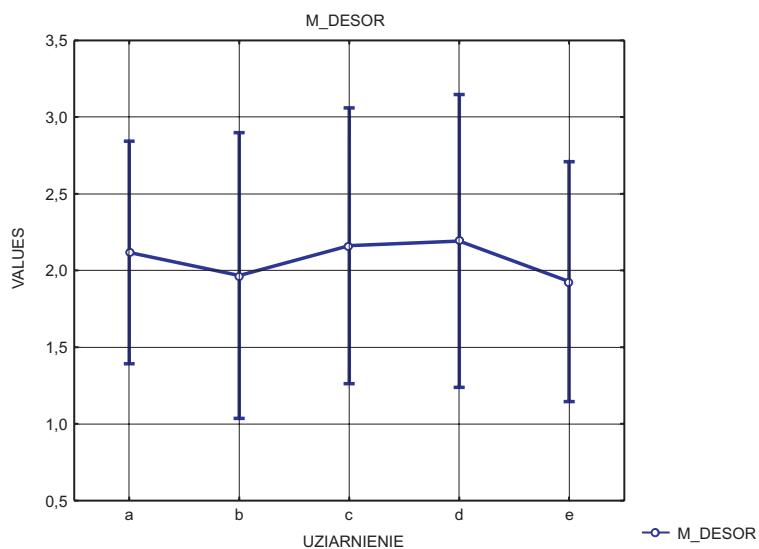
Wyniki testu najmniejszej istotnej różnicy NIR

Miejsce	LSD Test; Variable: M_DESOR Marked differences are significant at $p < 0,05000$					
	{1} M = 2,6087	{2} M = 2,1681	{3} M = 2,6548	{4} M = 2,2456	{5} M = 2,15,76	{6} M = 0,60711
I {1}		0,066452	0,842158	0,126170	0,060678	0,000000*
II {2}	0,066452		0,044163*	0,738086	0,964003	0,000000*
I {3}	0,842158	0,044163*		0,086775	0,040155*	0,000000*
IV {4}	0,126170	0,738086	0,086775		0,704437	0,000000*
V {5}	0,060678	0,964003	0,040155*	0,704437		0,000001*
VI {6}	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000001*	

3.2. Wpływ uziarnienia próby na metanoność desorbowlaną (tab. 4, rys. 3)

Tabela 4
Zestawienie średnich grupowych M_{des} ($N = 30$)

Breakdown table of Descriptive Statistics $N = 30$ (No missing data in dep. var. list)					
Uziarn.	M_DESOR Means	M_DESOR n	M_DESOR Std. Dev.	M_DESOR Variance	M_DESOR Std. Err.
a	2,117612	6	0,691231	0,477800	0,282194
b	1,967561	6	0,887859	0,788294	0,362467
c	2,162018	6	0,856436	0,733482	0,349638
d	2,192866	6	0,910444	0,828908	0,371687
e	1,928164	6	0,744506	0,554289	0,303943
All grps	2,073644	30	0,771298	0,594901	0,140819



Rys. 3. Zestawienie średnich grupowych metanoności desorbowlanej wraz z przedziałami ufności (95%)

3.2.1. Test jednorodności wariancji w grupach

Hipoteza zerowa:

$$H_0: \sigma_a^2 = \sigma_b^2 = \sigma_c^2 = \sigma_d^2 = \sigma_e^2 = \sigma^2 \quad (\alpha = 0,05).$$

Testy jednorodności wariancji:

	Hartleya F-maks	Cochrana C	Bartletta Chi-kwad	df	p
M_DESOR	1,734842	0,245038	0,511129	4	0,972407

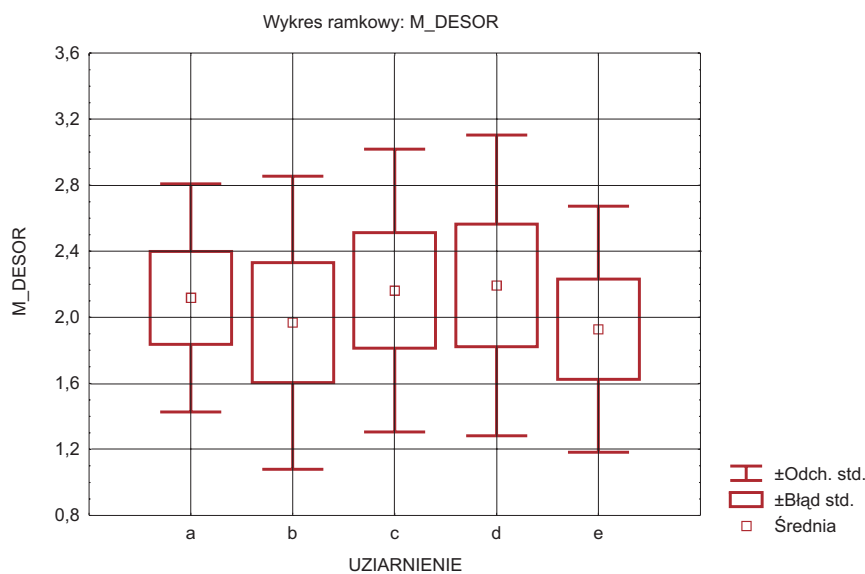
Przeprowadzony test wykazał, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji w grupach. Spełniony został zatem warunek formalny stosowania metody analizy wariancji z pojedynczą klasyfikacją.

3.2.2. Hipoteza o równości średnich m w grupach a–e

$$H_0 : m_a = m_b = m_c = m_d = m_e = m \quad (\alpha = 0,05).$$

Podst. statyst.	Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05000$							
Zmienna	SK pom. z grupami	df grup	ŚK pom. grupami	SK reszt.	df reszt.	ŚK reszt.	F	p
M_DESOR	0,338252	4	0,084563	16,91387	25	0,676555	0,124991	0,972082

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o braku wpływu czynnika związanego z uziarnieniem próby węgla na metanonośność desorbowlaną (rys. 4).



Rys. 4. Wykres „pudełko z wąsami” metanonośności desorbowlanej

3.2.3. Test grup jednorodnych

$$H_0 : E(SSB) = 0 \text{ (kwadrat różnic średnich międzygrupowych} = 0) \quad (\alpha = 0,05).$$

Tabela 5

Wyniki testu najmniejszej istotnej różnicy NIR

Uziarn.	LSD Test; Variable: M_DESOR Marked differences are significant at $p < 0,05000$				
	{1} M = 2,1176	{2} M = 1,9676	{3} M = 2,1620	{4} M = 2,1929	{5} M = 1,9282
a {1}		0,754646	0,926245	0,875362	0,693330
b {2}	0,754646		0,685674	0,639304	0,934544
c {3}	0,926245	0,685674		0,948724	0,626704
d {4}	0,875362	0,639304	0,948724		0,582211
e {5}	0,693330	0,934544	0,626704	0,582211	

Brak jest istotnych różnic średnich między grupami (tab. 5).

4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

- Opracowanie statystyczne wyników badań laboratoryjnych metanonośności desorbwalnej prowadzone było pod kątem ujawnienia roli i znaczenia czynników różnicujących badane próby węgla, tj. miejsca pobrania oraz uziarnienia. W tym celu wykorzystano metodę statystyczną o zaawansowanym charakterze – analizę wariancji z klasyfikacją pojedynczą (jednokryteriową lub jednoczynnikową).
- Na metanonośność desorbwalną M_{des} badanych prób węgla istotny wpływ wykazuje miejsce ich pobrania. Zgodnie z oczekiwaniami wartości M_{des} maleją generalnie wraz z upływem czasu; szczególnie niskie dotyczą miejsc pobrania prób V i VI, tj. na powierzchni po wyjściu urobku węglowego z zakładu wzbogacania oraz później w trakcie jego składowania.
- Uziarnienie prób węgla miało przede wszystkim istotny wpływ na dynamikę procesu desorpcji metanu węglowego [2]. Wraz ze wzrostem rozdrobnienia badanych prób rosło tempo ich odmetanowania, co jest zgodne z danymi literaturowymi np. [3, 5, 10, 11]. O wynikach testów statystycznych nie wykazujących dla kopalni „Budryk” istotnego wpływu uziarnienia na M_{des} (na poziomie istotności testowania $\alpha = 0,05$), decydować może niepewność (błąd) uzyskiwanych ocen M_{des} w związku z niepewnością wyników pomiarów oraz niejednorodnością fizyczną badanego pokładu węgla. Zróżnicowanie tych ocen może osiągać względne wartości rzędu kilkudziesięciu, nawet 30÷40 procent, np. [10, 11].

LITERATURA

- [1] Aczel A.D.: *Statystyka w zarządzaniu*. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN 2000
- [2] *Analityczne opracowanie wyników badań laboratoryjnych desorpcji metanu w trakcie eksploatacji, transportu i składowania węgla kamiennego*. Praca pod kier. K. Twardowskiego, Kraków, Wydział WNiG AGH 2002 (niepublikowane)

- [3] Diamond W.P., Levine J.R.: *Direct method determination of the gas content of local: procedures and results*. U.S. Bureau of Mines, Report No. 18515, 1981
- [4] Gawlik L., Grzybek I.: *Szacowanie emisji metanu w polskich zagłębiach (system węgla kamiennego)*. Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, Ser. „Studia – Rozprawy – Monografie”, 106, 2002
- [5] Gawraczyński Z. Borowski J.: *Zmiany zawartości metanu w czasie w próbkach pobranych z urobionego węgla*. Mat. Konf. Nauk. nt. „Metody rozpoznawania zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego”, Katowice, 1986
- [6] Kobus P., Pietrzykowski R., Zieliński W.: *Statystyka z pakietem STATISTICA*. Warszawa, Wyd. Fundacja Rozwój SGGW 2001
- [7] Kwarciański J., Kwarciański M., Twardowski K.: *Metanowość Kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w procesie restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego – aspekt środowiskowy i prawny*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 20/2, 2003
- [8] Magiera R.: *Modele i metody statystyki matematycznej*. Wrocław, Ofic. Wyd. GiS 2002
- [9] Twardowski K.: *O akumulacji metanu w pokładach węgla*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 14, 1997
- [10] Twardowski K. (red.): *Ocena metanonośności węgla kamiennych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na podstawie wyników pomiarów otworowych*. Kraków, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN 1997
- [11] *Zawartość metanu i wyższych węglowodorów nasyconych (alkanów) w gazie występującym w pokładach węgla strefy pokładów metanowych Niecki Głównej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Sosnowiec, Oddz. Górnośl. PIG 2000 (praca pod kier. J. Kwarciańskiego (niepublikowane))