

# BADANIE ZMIENNOŚCI I JEDNORODNOŚCI GĘSTOŚCI PRZESTRZENNEJ WĘGLA KAMIENNEGO W WYTYPOWANYCH POKŁADACH NIEZAGOSPODAROWANYCH ZŁÓŻ GZW

## EXAMINATION OF VARIABILITY AND BULK DENSITY HOMOGENEITY OF BITUMINOUS COAL IN SELECTED SEAMS OF UNDEVELOPED DEPOSITS OF USCB

Jacek Mucha, Monika Wasilewska-Błaszczuk, Martyna Paszek - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Stosując metody statystyczne przebadano zmienność i jednorodność oznaczeń gęstości przestrzennej węgla kamiennego w 19 pokładach z 4 niezagospodarowanych złóż węgla kamiennego GZW rozpoznanych wiertniczo. Zwrócono uwagę na ograniczoną wiarygodność wyników opróbowań rdzeni wiertniczych ujętych w dokumentacjach geologicznych. Wykazano, przy zastosowaniu testu wielokrotnych porównań (Gamesa-Howella), niejednorodność zbiorów oznaczeń gęstości przestrzennej w próbkach z badanych pokładów pomimo małej zmienności względnej tego parametru. Stwierdzono, że gęstość przestrzenna węgla jest najsilniej skorelowana z zawartością popiołu. Zaproponowano liniowy model regresji do wstępnej, przybliżonej predykcji gęstości przestrzennej kopaliny w próbkach pobranych w pokładach węgla, w których oznaczono zawartość popiołu.

**Słowa kluczowe:** węgiel kamienny, GZW, gęstość przestrzenna, jednorodność, test wielokrotnych porównań

The variability and homogeneity of bulk density of bituminous coal in 19 seams of four undeveloped deposits of the USCB recognized by drilling were examined by means of statistical methods. The attention was drawn to the limited reliability of the results of core sampling which were presented in geological documentations. A heterogeneity of measurements of coal density, despite the small relative variability of this parameter, was proved with application of a test of multiple comparisons (Games-Howell test). It was stated that the bulk density is the most strongly correlated with the ash content. A linear model of regression for a preliminary, approximate prediction of coal density on the basis of ash content assaying in collected samples was proposed.

**Keywords:** bituminous coal, USCB, bulk density, homogeneity, multiple range test

### Wprowadzenie

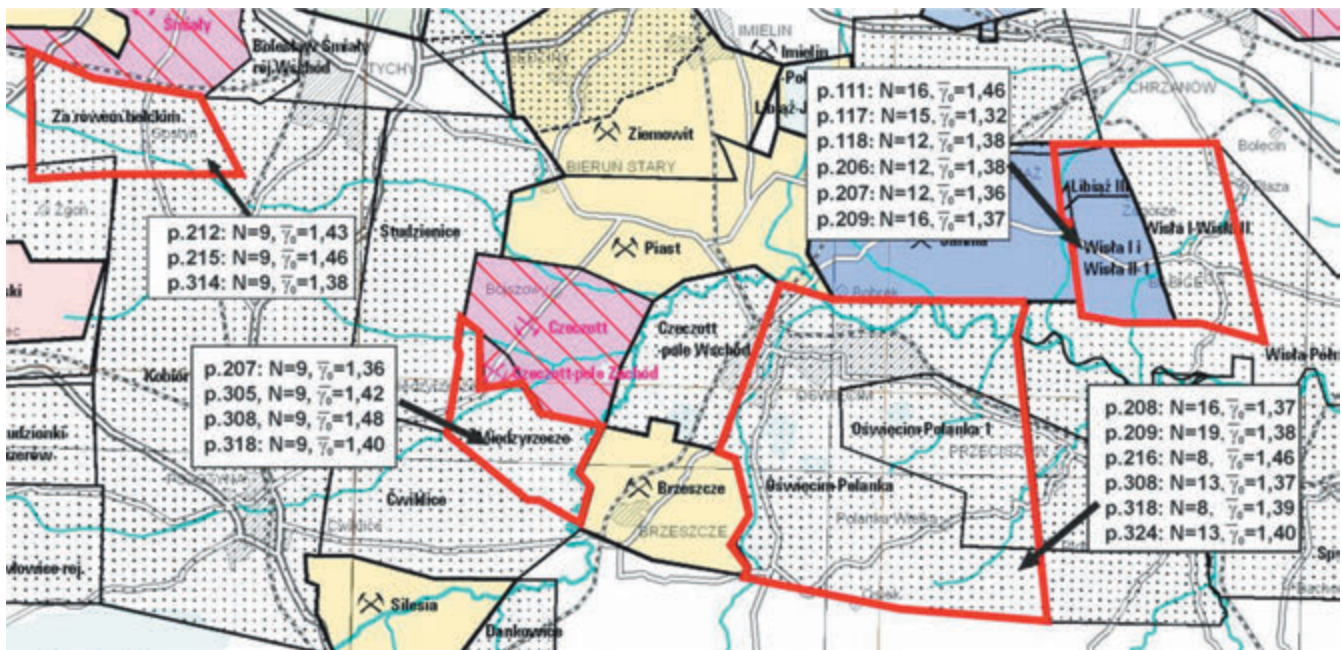
Powszechnie przyjmuje się pogląd, wsparty licznymi doświadczeniami [1], że gęstość przestrzenna kopaliny cechuje się niewielką zmiennością. Ten stosunkowo rzadko analizowany parametr złożowy jest jednym z podstawowych elementów wzorów służących do oszacowania zasobów kopaliny lub składników użytecznych w jednostkach masy. Ze względu na jego małą zmienność względną, w procedurach obliczeniowych na ogół przyjmuje się jego stałą wartość, zakładając jednorodność jego rozmieszczenia w złożu.

W pracy przeanalizowano metodami statystycznymi zasadność takiego założenia dla danych pochodzących z wytypowanych pokładów 4 niezagospodarowanych złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, dla których dysponowano odpowiednimi zbiorami danych, zaczerpniętymi z dokumentacji geologicznych. Przebadano również szanse

wiarygodnej prognozy wartości gęstości przestrzennej kopaliny w oparciu o znajomość skorelowanych z nią innych parametrów złożowych.

### Materiał podstawowy badań

Podstawę analizy statystycznej stanowiły wyniki rozpoznania otworowego 19 pokładów należących do 4 wytypowanych, niezagospodarowanych złóż GZW: Wisła I-II (W-6 pokładów), Oświęcim-Polanka (OP-6 pokładów), Za Rowem Bełckim (ZRB-3 pokłady) i Międzyrzecze (M-4 pokłady) (rys. 1) [2-5]. Poza pomiarami miąższości pokładów i gęstości przestrzennej, w trzech pierwszych złożach w próbkach pobranych z rdzeni wiertniczych oznaczono zawartość popiołu w stanie roboczym (A), wartość opalową (Q), zawartość siarki (S) natomiast w złożu Międzyrzecze jedynie zawartość popiołu. Ogółem dane pochodziły z pokładów zaliczanych do warstw libiąskich, łaziskich i orzeskich, a ich numerację podano na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja wytypowanych do badań pokładów niezagospodarowanych złóż węgla wraz ze średnimi (arytmetycznymi) gęstościami przestrzennymi kopaliny ( $\bar{\gamma}_0$ , Mg/m<sup>3</sup>) i liczbą danych (N) [6]

Fig. 1. Location of the studied coal seams within 4 undeveloped deposits of Upper Silesian Coal Basin with means of bulk density ( $\bar{\gamma}_0$ , Mg/m<sup>3</sup>) and count of data (N) [6]

Liczebność danych z poszczególnych pokładów była silnie zróżnicowana i wynosiła od 8 do 35. Całkowita liczba pomiarów miąższości i oznaczeń gęstości przestrzennej wynosiła 285, zawartości popiołu 284, wartości opałowej – 191 i zawartości siarki – 190.

### Jakość danych podstawowych

Wszystkie rozpatrywane pokłady zostały rozpoznane wiertniczo. Oszacowania zasobów i jakości węgla oraz korelacja warstw dokonywana była na podstawie analiz rdzeni pobranych w otworach wierconych w szerokim przedziale czasowym, na przestrzeni bez mała 100 lat. Najstarsze otwory z lat 1901–1915 (Oświęcim–Polanka, Międzyrzecze) wykonywane były tylko z częściowym rdzeniowaniem. Otwory z lat 50–tych i 60–tych z reguły charakteryzowały się małym uzyskiem rdzenia, co wynikało z niedoskonałości i ograniczeń ówczesnej techniki wiertniczej, a w szczególności stosowania koronek rolkowych sprzyjających wyplukiwaniu węgla. Skutkowało to w części otworów występowaniem błędów systematycznych w oznaczeniach zawartości popiołu i siarki oraz wartości opałowej. Większą wiarygodnością cechują się otwory z lat 70–tych i późniejszych w związku z przejściem na koronki słupkowe, widiowe i diamentowe. Te ostatnie pozwalały na osiągnięcie uzysków rdzeni rzędu 80–100%. Nie można również pominąć trudnego do oceny ilościowej wpływu zmniejszania średnic otworów (np. w złożu Międzyrzecze od 216 mm do 59 mm) z głębokością na wielkość pobieranych próbek i w konsekwencji na dokładność szacowania parametrów opisujących jakość kopaliny.

Informacje geologiczne zawarte w starszych dokumentacjach dotyczące szeroko rozumianego procesu opróbowania pokładów są silnie zróżnicowane co do wiarygodności i na ogół niepełne lub nieprecyzyjne. Opisy opróbowania rdzeni wiertniczych stanowią jeden z podstawowych mankamentów dokumentacji rozpoznawanych złóż węgla kamiennego. Są one albo zbyt lakoniczne i nie wnoszą istotniejszych informacji

o sposobie dokonywania tej czynności albo jest ich w ogóle brak. W szczególności odczuwa się brak szerszej informacji o sposobie pobierania próbek (i wielkości jej masy) jak również o sposobie przygotowania próbki do oznaczeń parametrów jakościowych oraz metodyce samego oznaczania parametrów jakościowych. Standardowo w dokumentacjach zaznaczano, iż opróbowania pokładów i oznaczenia parametrów dokonano zgodnie z obowiązującą w owym czasie normą branżową, nie dołączaną z reguły do dokumentacji. W żadnej z dokumentacji nie podjęto próby oceny błędów opróbowania. Utrudnia to w późniejszym etapie postępowania ocenę dokładności oszacowań jakości węgla i jego zasobów.

Biorąc pod uwagę fakt, że otwory wiercone były przez różnych wykonawców, przy zastosowaniu różnych technik wiercenia, rodzaju sprzętu oraz metod opróbowania można stwierdzić, że zgromadzone dane są niejednorodne, w sensie ich wiarygodności, zarówno w skali całych złóż jak i pojedynczych pokładów. Ilościowe wyrażenie wpływu wymienionych czynników na dokładność oszacowań jakości i zasobów węgla w pokładach, wobec braku odpowiednich informacji, jest obecnie praktycznie niewykonalne i trudne nawet teoretycznie do oceny w sposób bardzo przybliżony.

### Metodyka badań

Do badania jednorodności oznaczeń gęstości przestrzennej w pokładach węgla zastosowano metody statystyki klasycznej. W jej ramach w pierwszej kolejności opisano liczbowo zmienność gęstości przestrzennej kopaliny oraz wartości opałowej, zawartości popiołu i siarki oraz miąższości poszczególnych pokładów za pomocą skrajnych wartości średnich i współczynników zmienności oraz błędów oszacowań parametrów dla poziomu prawdopodobieństwa  $P=0,95$  (tab. 1). W formie graficznej zmienność gęstości przestrzennej zilustrowano za pomocą metody „ramka-wąsy” (rys. 2) [7]. Pozwala ona na wydzielenie w analizowanym zbiorze wartości odbiegające od pozostałych oraz wartości ekstremalnych (anomalnych),

nie „pasujących” do reszty wartości. Ramkę tworzą odcinki odpowiadające dolnemu i górnemu kwartylowi. Ich różnica jest pozycyjną miarą zmienności i nosi nazwę rozstępu międzykwartylowego. Za wartości odbiegające uznaje się umownie wartości usytuowane w przedziałach powyżej górnego kwartyla lub poniżej dolnego kwartyla w odległościach między 1,5 do 3 wielkości rozstępu międzykwartylowego. Za wartości anomalne uznaje się natomiast wartości parametru odległe od kwartyli o więcej niż potrojony rozstęp międzykwartylowy.

Do badania jednorodności oznaczeń gęstości przestrzennej zastosowano jeden z testów wielokrotnych porównań określany jako test Games'a-Howella [8]. Prowadzi on do wydzielenia grup zbiorów o zbliżonych wartościach średnich analizowanego parametru i nieróżniących się w sposób statystycznie istotny (tab. 2). Zastosowany wariant testu wielokrotnych porównań jest rekomendowany w przypadku porównywania zbiorów o zróżnicowanych liczebnościach i wariacjach parametrów. Należy on do testów stosunkowo liberalnych tzn. takich, które w miarę łatwo odrzucają hipotezę o równości średnich wartości parametrów w populacji generalnej.

W ostatniej kolejności zbadano siłę korelacji liniowej wiążącej gęstość przestrzenną z pozostałymi parametrami pokładów (rys. 3) oraz zbadano kształt zależności za pomocą metod regresji wielokrotnej (rys. 4) oraz regresji pojedynczej dla pary parametrów: gęstość przestrzenna – zawartość popiołu (rys. 5). Wszystkie obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu STATGRAPHICS XVII.

### Statystyczna charakterystyka parametrów złożowych

Analizowane parametry złożowe, z punktu widzenia ich zmienności w obrębie rozpatrywanych pokładów, można zakwalifikować do dwóch grup. Do pierwszej z nich można zaliczyć gęstość przestrzenną kopaliny i wartość opałową. Cechują się one małą zmiennością względną ze współczynnikami zmienności nie przekraczającymi 12% (tab. 1) i niewielkim zróżnicowaniem zmienności względnej między pokładami. Dokładność oszacowań średnich wartości tych parametrów spełnia formalnie wymagania ilościowe dla kategorii A stopnia zbadania złoża.

Tab. 1. Skrajne wartości parametrów statystycznych dla uśrednionych w obrębie pokładów parametrów złożowych 4 złóż niezagospodarowanych (w nawiasach podano wartości dla wszystkich danych połączonych w jeden zbiór)

Tab. 1. Statistics for mean values of seam parameters of 4 undeveloped deposits (in brackets values for all data)

Parametr	Np (N)	$\bar{x}_{min}$ ( $x_{min}$ )	$\bar{x}_{max}$ ( $x_{max}$ )	$v_{min}[\%]$	$v_{max}[\%]$	$\epsilon_{w-min}[\%]$ (P=0.95)	$\epsilon_{w-max}[\%]$ (P=0.95)
				(V) [%]			
$\gamma_0$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	19 (285)	1,32 (1,22)	1,48 (1,75)	3	11	1,3	5,9
				(7)			
A [%]	19 (284)	10,38 (4,15)	24,50 (43,13)	20	53	9,8	35,5
				(45)			
Q [MJ/kg]	15 (191)	19,43 (15,75)	26,38 (29,30)	5	12	2,5	8,3
				(11)			
S [%]	15 (190)	0,63 (0,13)	1,24 (2,83)	35	73	18,1	35,5
				(53)			
M [m]	19 (285)	1,24 (0,40)	4,77 (7,20)	8	64	4,1	35,0
				(57)			

Objaśnienia: Np – liczba pokładów, N – całkowita liczba danych,  $\bar{x}_{min}$ ,  $\bar{x}_{max}$  – skrajne (minimalne i maksymalne) średnie wartości parametrów

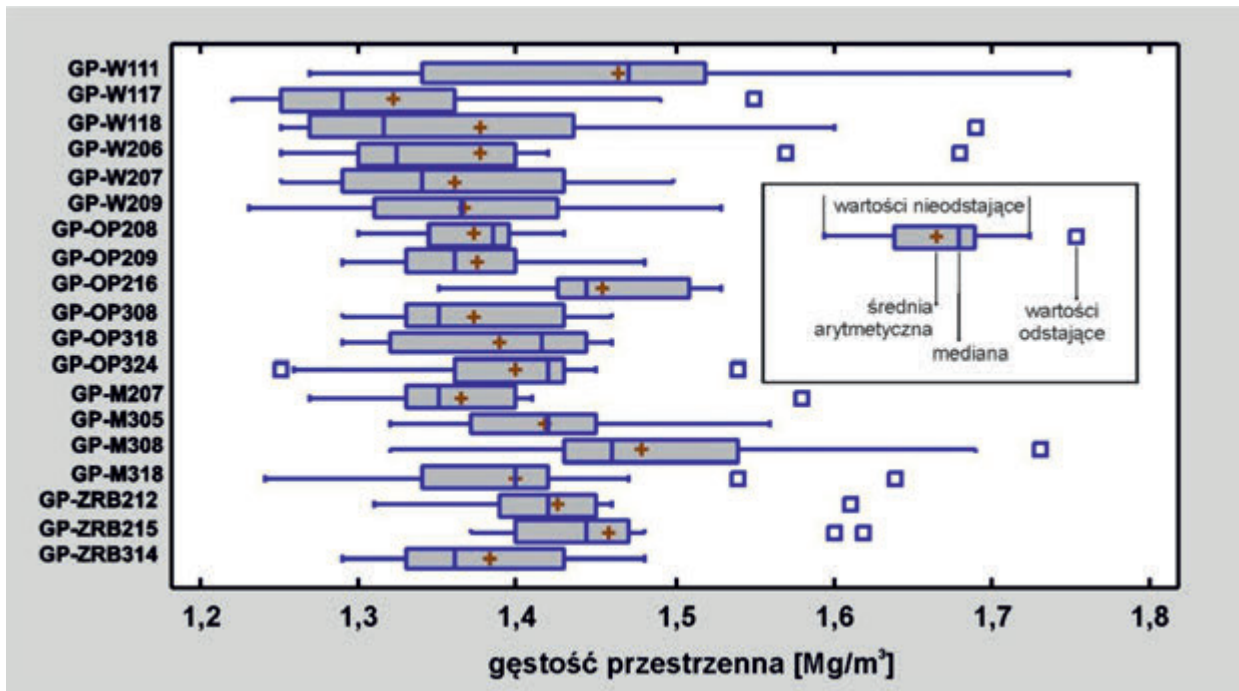
w pokładach, ( $x_{min}$ ), ( $x_{max}$ ) – skrajne (minimalne i maksymalne) wartości parametrów,  $v_{min}$ ,  $v_{max}$  – skrajne wartości współczynników zmienności,  $\epsilon_{w-min}$ ,  $\epsilon_{w-max}$  – skrajne wartości błędów oszacowań średnich wartości parametrów w pokładach

Do drugiej grupy można zakwalifikować pozostałe parametry. Charakteryzują się one silnym zróżnicowaniem zmienności względnej od małej do dużej (zawartość popiołu i miąższość pokładu ze współczynnikami zmienności od 20% do 64%) lub od umiarkowanej do dużej (zawartości siarki ze współczynnikami zmienności od 35% do 73%). Przy liczbie dostępnych pomiarów dokładność oszacowań średnich miąższości pokładów i zawartości popiołu spełnia w zależności od konkretnego pokładu wymagania ilościowe stawiane w kategoriach stopnia zbadania od C<sub>2</sub> do A natomiast w odniesieniu do zawartości średniej siarki od kategorii C<sub>2</sub> do kategorii B.

O dokładności oszacowań zasobów węgla w konkretnym pokładzie decydują dokładności oszacowań średniej miąższości pokładu i gęstości przestrzennej kopaliny. Zestawione w tabeli 1 wielkości błędów oszacowań średnich wartości obu parametrów jednoznacznie dowodzą, że dokładność względna oszacowań zasobów węgla jest praktycznie równa dokładności względnej oszacowań średniej miąższości pokładu. Dokładność oszacowań zasobów odpowiada kategorii w jakiej została sporządzona dokumentacja lub jest od niej wyższa.

Bezwzględne zróżnicowanie średnich (arytmetycznych) wartości gęstości przestrzennej kopaliny w pokładach jest znaczące i wynosi od 1,32 [Mg/m<sup>3</sup>] do 1,48 [Mg/m<sup>3</sup>] a zróżnicowanie median jest jeszcze większe (rys. 2). Różnica skrajnych oznaczeń w pojedynczych próbkach jest silnie znacząca i wynosi aż 0,53 [Mg/m<sup>3</sup>] (od 1,22 do 1,75 [Mg/m<sup>3</sup>]). Wynika to z występowania stosunkowo licznych (jak na skromną w większości liczebność zbiorów danych) wartości odbiegających od pozostałych. Należy jednak zwrócić uwagę, że dla rozpatrywanych pokładów nie stwierdzono (w świetle zastosowanej metody „ramka-wąsy”) występowania oznaczeń, które można by uznać za anomalne (rys. 2).

Badanie korelacji liniowej między parami parametrów złożowych wykazało statystyczną istotność zależności między gęstością przestrzenną oraz pozostałymi parametrami złożowymi (tab. 2). Jednak, jedynie korelacja gęstości przestrzennej z zawartością popiołu może mieć znaczenie praktyczne aczkolwiek nawet i jej siła (mierzona współczynnikiem korelacji równym 0,63) jest tylko umiarkowana. Zależności takiej i silniejszej można było oczekiwać



Rys. 2. Wykres „ramka-wąsy” dla danych gęstości przestrzennej (GP) z 19 pokładów 4 złóż niezagospodarowanych (złóża: W – Wisła I-II, OP – Oświęcim–Polanka, M – Międzyrzecze, ZRB – Za Rowem Belckim)

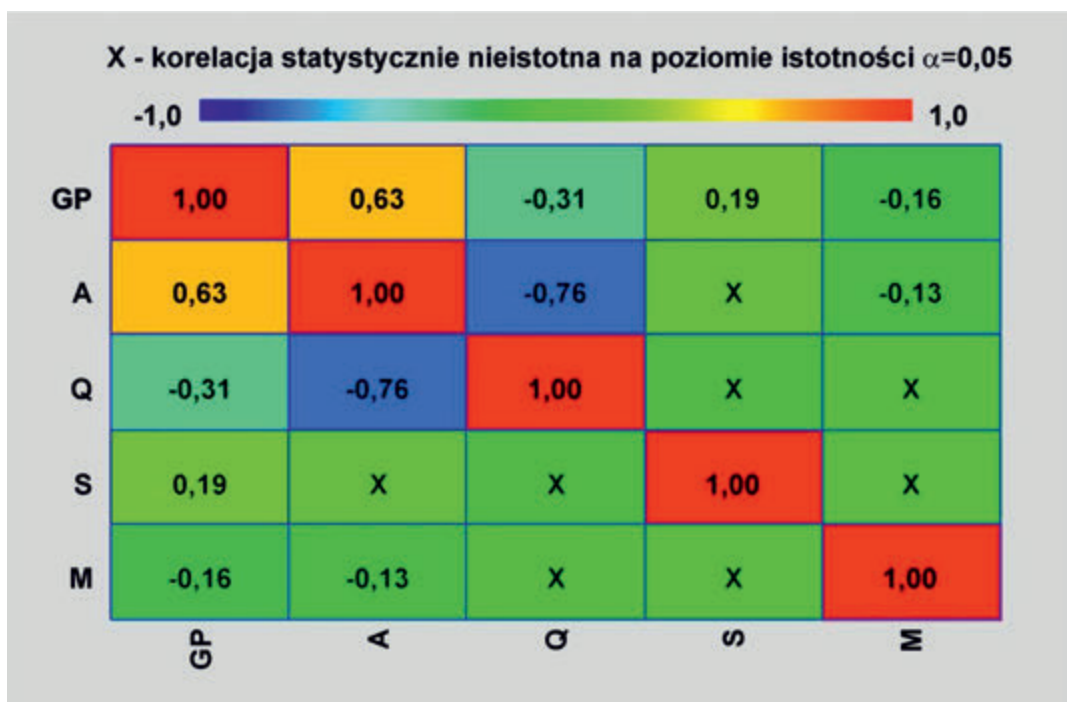
Fig. 2. Diagram of „box and whiskers” for bulk density (GP) within 19 coal seams of 4 undeveloped deposits USCB

zważywszy, że o gęstości przestrzennej kopaliny decyduje przede wszystkim zawartość popiołu uzależniona głównie od udziału przerostów płonnych, których gęstości przestrzenne (od 2,0 do 2,8 [Mg/m<sup>3</sup>]) są wyraźnie wyższe od gęstości przestrzennej substancji węglowej (1,2 do 1,5 [Mg/m<sup>3</sup>]). Najsilniejszą, ujemną korelację liniową, ze współczynnikiem korelacji (-0,76) stwierdzono w przypadku pary parametrów: zawartość popiołu (A) – wartość opałowia (Q).

**Badanie jednorodności gęstości przestrzennej w pokładach**

Z uwagi na silne zróżnicowanie liczebności zbiorów danych (od 8 do 35) oraz wariacji gęstości przestrzennej (ze stosunkiem maksymalnej i minimalnej wariacji równym 12,5) do badania jednorodności gęstości przestrzennej kopaliny w pokładach zastosowano test wielokrotnych porównań Games’a-Howella, który bierze poprawkę na wymienione zróżnicowania. Dla porównania procedurę wydzielenia zbioro-

Tab. 2. Współczynniki korelacji liniowej parametrów złożowych (wszystkie dane)  
Tab. 2. Coefficients of linear correlation of deposit parameters (all data)



Objaśnienia: GP – gęstość przestrzenna, A – zawartość popiołu, Q – wartość opałowia, S – zawartość siarki całkowitej, M – miąższość pokładu

Tab. 3. Wydzielenie grup pokładów jednorodnych ze względu na gęstość przestrzenną kopaliny i zawartość popiołu (test wielokrotnych porównań, test Games'a-Howell'a, poziom istotności  $\alpha=5\%$ )

Tab. 3. The results of the multiple range tests for bulk density (GP) and ash content (A) (Games-Howell test, significance level – 5%)

Złoże i nr pokładu	Gęstość przestrzenna (GP)			Zawartość popiołu (A)	
	N	$\bar{x}$	Grupy jednorodne	N	Grupy jednorodne
W117	15	1,321	X	15	XXXX
W207	12	1,362	XXX	12	XXX
M207	15	1,364	XXX	14	X
W209	16	1,367	XXX	16	XXX
OP208	16	1,374	XX	16	XX
OP308	13	1,374	XX	13	XX
OP209	19	1,376	XX	19	XX
W118	12	1,377	XX	12	XX
W206	12	1,377	XX	12	XX
ZRB314	9	1,383	XX	9	XX
OP318	8	1,389	XX	8	XX
M318	26	1,399	XX	26	XX
OP324	13	1,399	XX	13	XX
M305	35	1,418	XX	35	XX
ZRB212	11	1,426	XX	11	XX
OP216	8	1,455	X	8	X
ZRB215	12	1,459	X	12	X
W111	16	1,464	XX	16	X
M308	19	1,478	X	19	X

Objaśnienia: N – liczba danych w pokładzie,  $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna, grupy jednorodne zaznaczono w kolumnach jednolitymi kolorami

rów jednorodnych wykonano również dla zawartości popiołu, parametru najsilniej skorelowanego z gęstością przestrzenną, a wyniki zestawiono w tabeli 3.

Jak wynika z tabeli 3 oznaczenia gęstości przestrzennej w pokładach nie tworzą w całości jednorodnego zbioru danych ze względu na średnie wartości tego parametru, chociaż każdy z 3 wariantów wydzielonych grup pokładów jednorodnych obejmuje ogromną większość pokładów. Na 19 rozpatrywanych pokładów jedynie 2-3 pokłady cechują się średnimi gęstościami różnymi od pozostałych z ryzykiem błędu takiego twierdzenia nie większym od 5%. Pokłady uznane za jednorodne należą do różnych warstw i złożeń.

Pokłady wydzielone jako jednorodne ze względu na średnie zawartości popiołu różnią się nieco od tych wydzielonych ze względu na średnie gęstości przestrzenne kopaliny (tab. 3). Test Games'a-Howell'a wyróżnia w przypadku tego parametru 4 grupy pokładów jednorodnych. Obserwowaną niespójność, wydzielenie grup jednorodnych dla obu parametrów, może częściowo tłumaczyć stosunkowo niską wartość współczynnika korelacji wiążącego oba parametry. W świetle posiadanych danych, a w szczególności opisanych wcześniej niedostatków dokumentowania pokładów węgla kamiennego, trudno dociec podstawowych przyczyn niespójności grup jednorodnych z punktu widzenia omawianych parametrów. Można ich upatrywać zarówno w błędach opróbowania i procedur analitycznych jak i uwarunkowaniach genetycznych związanych przykładowo ze zróżnicowaniem porowatości, spoiwa skał płonnych jak również z występowaniem minerałów ciężkich (np. pirytu).

### Analiza korelacji liniowej

Dla zweryfikowania możliwości predykcji gęstości przestrzennej w punktach rozpoznania, w których nie dokonano jej oznaczeń w oparciu o znajomość wartości innych parametrów

złożowych, zastosowano w pierwszej kolejności analizę regresji wielokrotnej (wielorakiej) [8].

Dla 191 danych z 15 pokładów należących do 3 złożeń (nie uwzględniono złoża Międzyrzecze, dla którego dysponowano jedynie danymi gęstości przestrzennej i zawartości popiołu) określono metodą najmniejszych kwadratów zależność liniową postaci:

$$GP = a + bA + cQ + dS + eM \quad (1)$$

gdzie:

a, b, c, d, e – współczynniki modelu,

GP – gęstość przestrzenna,

A [%] – zawartość popiołu,

Q [MJ/kg] – wartość opałowa,

S [%] – zawartość siarki,

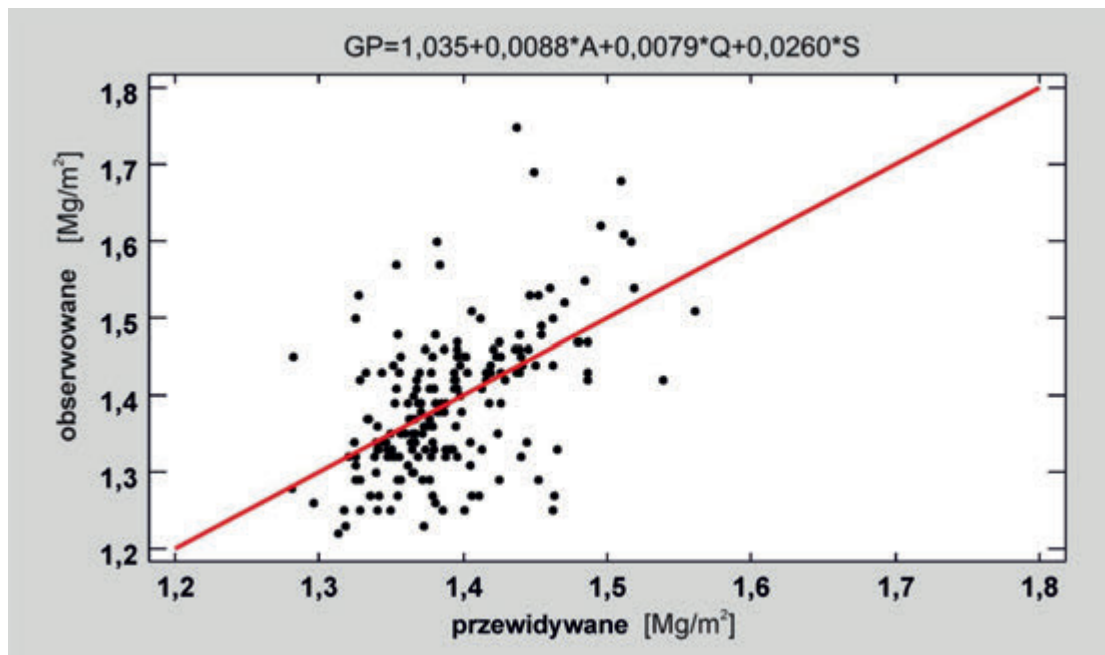
M [m] – miąższość pokładu (wartości parametrów określone w punktach rozpoznania).

Uzyskany w programie STATGRAPHICS XVII model zależności wykazał brak statystycznej istotności dla miąższości pokładu (brak wkładu do poprawności modelu). W związku z tym obliczenia powtórzono eliminując w zbiorze dane dotyczące tego parametru. Zbudowany model liniowy regresji wielokrotnej jest wysoce istotny statystycznie (z prawdopodobieństwem braku zależności  $P=0,0000$ ) ze współczynnikiem determinacji  $R_2=29,1\%$  oraz standardowym błędem estymacji 0,078 i średnim błędem absolutnym 0,056.

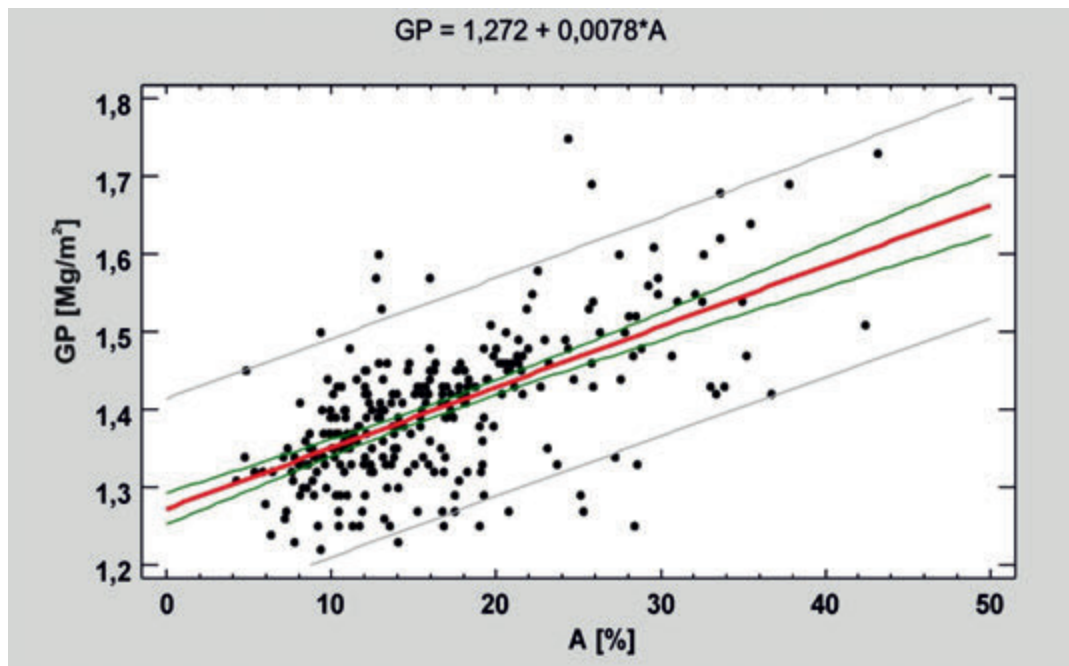
Model zależności ma postać:

$$GP[Mg/m^3] = 1,035 + 0,0088A[\%] + 0,0079Q[MJ/kg] + 0260S[\%] \quad (2)$$

Pomimo statystycznie wysoce istotnej zależności model wielokrotny wyjaśnia zaledwie 29% całkowitej zmienności gęstości przestrzennej. Ilustruje to dobrze diagram punktowy na rysunku 3, na którym rozrzut punktów wyrażających zależność



Rys. 3. Zależność wartości obserwowanych (pomierzonych) gęstości przestrzennej od wartości prognozowanych w oparciu o model regresji wielokrotnej  
Fig. 3. Dependence between observed and predicted values of bulk density and others parameters (multiple regression model)



Rys. 4. Model liniowej zależności gęstości przestrzennej kopaliny od zawartości popiołu w badanych pokładach węgla kamiennego  
Fig. 4. Model of linear regression between bulk density and ash content in analyzed seams of bituminous coal

wartości gęstości przestrzennych pomierzonych w punktach rozpoznania i prognozowanych na podstawie wzoru (2) wokół prostej wyrażającej idealną zależność jest duży.

W drugiej kolejności określono postać prostego (pojedynczego) modelu liniowej zależności między gęstością przestrzenną (GP) i najsilniej z nim skorelowanym parametrem - zawartością popiołu (A) dla 286 danych ze wszystkich 19 pokładów. Identycznie jak w przypadku regresji wielokrotnej korelacja jest statystycznie wysoce istotna ( $P=0,0000$ ) ze współczynnikiem korelacji  $r=0,63$  i współczynnikiem determinacji  $R^2=39,2\%$  oraz standardowym błędem estymacji 0,071 i średnim błędem absolutnym 0,052. Model zależności przedstawiony na wykresie (rys. 4) ma postać:

$$GP[\text{Mg/m}^3] = 1,272 + 0,0078A[\%] \quad (3)$$

Powyższy model wyjaśnia niespełna 40% całkowitej zmienności objaśnianego parametru (GP) a siłę korelacji można uznać jedynie za umiarkowaną. Może być on wykorzystywany do szybkiej, ale przybliżonej oceny gęstości przestrzennej kopaliny, gdy w punktach rozpoznania dysponuje się jedynie oznaczeniami zawartości popiołu. Lepsze wyniki modelowania zależności dla pojedynczej regresji niż dla regresji wielokrotnej, wyrażone mniejszymi błędami estymacji i większymi wartościami współczynnika determinacji można tłumaczyć większą o 95 liczbą danych wykorzystanych w pierwszym przypadku.

Uzyskanie znacznie słabszej korelacji rozpatrywanych parametrów, niż to można było oczekiwać na podstawie rozważań teoretycznych, należy wiązać podobnie jak w przypadku wyników wielokrotnych porównań z trudnymi obecnie do skwantyfikowania błędami procesu oprobrowania i zmiennością

cech litologicznych kopaliny.

Na marginesie przedstawionych wyników należy dodać, że przeprowadzona próba dopasowania do zależności empirycznych rozpatrywanych parametrów prostych (pojedynczych) modeli nieliniowych (krzywoliniowych) nie przyniosła zauważalnej poprawy aproksymacji zależności empirycznej przez model teoretyczny. Najlepszy z oferowanych przez program STATGRAPHICS model krzywoliniowy (tzw. squared-Y) prowadzi do zwiększenia współczynnika determinacji zaledwie o nieznaczającą wielkość 0,8% (z 39,2% do 40,0%). W tej sytuacji racjonalne jest wykorzystywanie do predykcji wartości parametru prostszego modelu liniowego.

### Podsumowanie i wnioski

1. Wiarygodność wyników oprobowań rdzeni wiertniczych w rozpatrywanych 19 pokładach węgla kamiennego w obrębie 4 niezagospodarowanych złóż GZW jest ograniczona i zróżnicowana z uwagi na szeroki przedział czasowy rozpoznawania tych złóż i zachodzący w nim postęp technik wiertniczych. Ocena wpływu błędów oznaczeń gęstości przestrzennej na dokładność oszacowania zasobów węgla kamiennego jest w praktyce niemożliwa z uwagi na zbyt lakoniczne i niepełne opisy procedur oprobowania w dokumentacjach geologicznych.
2. Test wielokrotnych porównań (Games'a-Howell'a) wykazał, że analizowane zbiory oznaczeń gęstości przestrzennej kopaliny w pokładach nie są jednorodne z punktu widzenia ich średnich wartości pomimo znikomo małej zmienności względnej tego parametru. Jeszcze większą niejednorodnością charakteryzuje się zawartość popiołu. Wydzielone grupy jednorodne pokładów, z uwagi na oba parametry złożowe, nie pokrywają się ze sobą.
3. Gęstość przestrzenna kopaliny w rozpatrywanych pokładach jest skorelowana liniowo w sposób statystycznie istotny (na poziomie istotności 5%) z innymi parametrami złożowymi: zawartością popiołu, wartością opałową, zawartością siarki i miąższością pokładu ale jedynie najsilniejsza korelacja z zawartością popiołu (ze współczynnikiem korelacji 0,63) może mieć znaczenie praktyczne.
4. Zaproponowany model liniowy zależności może służyć do wstępnej predykcji gęstości przestrzennej kopaliny w próbkach, w których z parametrów opisujących jakość węgla dokonano jedynie oznaczeń zawartości popiołu. Postępowanie takie powinno prowadzić do uściślenia wielkości szacowanych zasobów węgla w pokładach.

*Praca zrealizowana została w ramach badań statutowych  
Katedry Geologii Złożowej i Górniczej (nr 11.11.140.320) w 2015 roku.*

### Literatura

- [1] Nieć M., *Geologia kopalniana*. Wyd. Geol., Warszawa, 1990 s. 504
- [2] Dokumentacja Geologiczna (1986) złoża węgla kamiennego rejonu „Oświęcim–Polanka” w kategorii C<sub>2</sub> (Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne)
- [3] Dokumentacja Geologiczna (1975) złoża węgla kamiennego rejonu „Międzyrzecze” kat. C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub> (Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne)
- [4] Dodatek do Dokumentacji Geologicznej (2003) złoża węgla kamiennego „Za Rowem Bełckim” w kategorii C<sub>2</sub>, D (Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne)
- [5] Dokumentacja Geologiczna i Hydrogeologiczna (1964) złoża węgla kamiennego i łupku węglowego projektowanych obszarów górniczych Wisła I i Wisła II
- [6] Mapa rozmieszczenia złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wg stanu na 31.XII.2013. PIG PIB, 2014
- [7] Nieć M. (red.), *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych*. Część IV. Szacowanie zasobów (Aneks). Ministerstwo Środowiska, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2012 s. 241
- [8] STATGRAPHICS® Centurion XVII User Manual 2014, Statpoint Technologies, Inc.