

*Andrzej Galiński**, *Piotr Mertuszka***,
*Michał Strzelecki***, *Andrzej Wojtaszek**

ZASTOSOWANIE KLASYFIKACJI POJEDYNCZEJ DO OCENY PODZIAŁU SKAŁ ZŁOŻOWYCH I OTACZAJĄCYCH NA STROP, ZŁOŻE I SPĄG NA PRZYKŁADZIE KOPALNI „RUDNA”

1. Wstęp

Rozwój konstrukcji górniczych wymaga dokładnego rozpoznania skał i masywu skalnego w miejscu ich posadowienia. Rozpoznanie opiera się na wyznaczaniu parametrów fizykomechanicznych skał, które zależą od budowy i historii geologicznej rozpatrywanego obszaru górniczego.

Znajomość fizykomechanicznych właściwości skał budujących masyw skalny stanowi podstawę projektowania inżynierskiego budowli w górotworze, umożliwia także ocenę zachowania się skał złożowych (wyrobisko) i masywu towarzyszącego (strop, spąg) oraz pozwala rozwiązywać niektóre problemy specjalistyczne w geomechanice.

Wyznaczone parametry skał są podstawą do różnego rodzaju analiz, które stanowią podstawę do formułowania wniosków, i które są odpowiedzią na postawione zadania. Własności górotworu są ważnym materiałem do prac naukowych, a także projektowych i wdrożeniowych w różnych fazach eksploatacji.

Obecnie, kiedy do dyspozycji mamy bardzo duże bazy danych, coraz większe znaczenie odgrywają metody statystyczne stosowane w analizie wyników badań [6, 8]. Metody te umożliwiają szersze i dokładniejsze określenie zagadnień i problemów, które powstają w czasie projektowania i realizacji eksploatacji górniczej. Do dyspozycji mamy sprawdzone obszerne pakiety statystyczne (Statistica, Statgraphics) oraz komputery o dużej mocy obliczeniowej.

* Instytut Górnictwa, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wrocław

** KGHM CUPRUM sp. z o. o., Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

2. Cel pracy

W pracy wykorzystano dokumentację z kopalni „Rudna” (Zagłębie LGOM) z rejonów G–12 i G–14, które położone są w rejonie zachodnim kopalni. Dokumentacja obejmuje pomiary sześciu parametrów skał zestawionych oddzielnie dla stropu, wyrobiska i spągu. Otrzymuje się je z odwiertów wykonanych na stanowiskach badawczych położonych kilkaset metrów pod powierzchnią ziemi. Praktyka górnicza pozwala na takie zestawienia zgodnie z intuicją. Stanowiska pomiarowe położone blisko siebie umożliwiają ocenę górotworu dla wybranych obszarów górniczych bez konieczności wykonywania odwiertów z powierzchni ziemi.

Powstaje jednak pytanie, czy taki podział (strop, złoże, spąg) wyników wartości parametrów poza intuicją, jest uzasadniony formalnie. Korzystając z odpowiednich metod statystycznych można odpowiedzieć na to pytanie. Pozytywne wyniki analizy uzyskano, jak to pokazano w pracach [1–3, 5] dla kopalń „Lubin” i „Polkowice–Sieroszowice”.

W niniejszej analizie dla rejonów G–12 i G–14 kopalni „Rudna” wykorzystano wszystkie aktualnie i dostępne dane zapisane na nośnikach elektronicznych.

3. Przygotowanie danych

Dane potrzebne do przeprowadzenia analiz zawarte były materiałach źródłowych Kopalni „Rudna”, które otrzymano z Działu Mechaniki Górotworu i Obudowy [4]. Gromadzone były one na nośnikach elektronicznych z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych Excel. Dane zostały zebrane z rejonów G–12 i G–14 kopalni „Rudna” części zachodniej. W każdym z tych rejonów wykonano szereg stanowisk badawczych. Na każdym stanowisku wykonano otwory w stropie do 25 m, w spągu do 5 m oraz w złożu 3–5 m. Pobrane rdzenie ze skały były przekazane do Pracowni Badania Fizykomechanicznych Własności Skał i Betonów „Cuprum” we Wrocławiu. Tam odpowiednio przygotowane z rdzeni próbki skał były badane na w celu wyznaczenia właściwości fizyko-mechanicznych. Wyniki pomiarów poszczególnych parametrów skał wpisano w odpowiednie bazy danych. Pojedyncze stanowisko badawcze w kopalni obejmowało strop, złoże, spąg. Taka dokumentacja zawierała wyniki dla sześciu parametrów skał. W rejonie G–12 wykorzystano trzy stanowiska o numerach Mo–1398, Mo–131503, Mo–181794, a w rejonie G–14 o numerach Jm–235142, Jm–2358, Jm–231. Właściwości geomechaniczne górotworu są określane w badaniach laboratoryjnych [7] dla skał występujących w pełnych profilach górniczych tj.:

- w stropie bezpośrednim do wysokości równej pięciokrotnej miąższości furty, przeciętnie do wysokości 25 m,
- w furcie eksploatacyjnej (wyrobisku),
- w spągu do głębokości równej jednokrotnej miąższości furty, nie mniej niż 5 m.

Zakres badań laboratoryjnych obejmował określenie następujących właściwości geomechanicznych:

- gęstości objętościowej — ρ_0 , kg/dm³,

- wytrzymałości na ściskanie — R_c , MPa,
- wytrzymałości na rozciąganie — R_p , MPa,
- moduł sprężystości Younga — E_s , GPa,
- współczynnika Poissona — ν ,
- energetycznego wskaźnik skłonności do tępań — W_{et} .

Przygotowanie danych do analizy polegało na zaimportowaniu arkuszy kalkulacyjnych (Excel) danych do pakietu statystycznego Statgraphics i następnie zaprojektowaniu takich baz danych już w pakiecie statystycznym, które umożliwiły dalsze analizy. Projektowanie baz danych polegało na połączeniu i zsumowaniu wyników pomiarów z kilku stanowisk badawczych oddzielnie dla stropów, dla złoża i dla spągów. Otrzymano w ten sposób zbiory niezależne dla stropów dla wyrobisk i dla spągów. Wykonano to dla rejonu G-12 i dla rejonu G-14. Otrzymane bazy zostały uzupełnione o dodatkowe kolumny, które pozwoliły na kodowanie danych. Taka kolumna (wektor) budowany był w następujący sposób. Przyjęto w ten sposób kod 1 dla spągu, kod 2 dla złoża i kod 3 dla stropu. Zbudowany w ten sposób wektor umożliwił przeprowadzenie wybranej analizy statystycznej. Przyjęta analiza statystyczna to klasyfikacja pojedyncza (jeden wektor) zwana inaczej jednoczynnikową analizą wariancji. Została ona dokładniej przedstawiona w dalszej części pracy.

4. Stosowane metody obliczeniowe

4.1. Jednoczynnikowa analiza wariancji

Budując bazę danych przyjmuje się, że każda kolumna jest zmienną losową a pojedynczy pomiar jednej realizacją tej zmiennej.

Jednoczynnikowa analiza wariancji [6] zwana inaczej klasyfikacją pojedynczą polega na ocenie ilorazu wariancji otrzymanych z podziału całej próbki na grupy. Ocenia się wtedy wariancję międzygrupową i wariancję całej próby przed podziałem. Korzysta się ze statystyki F Fishera-Snedecora postaci [9].

$$F = \frac{S}{\bar{S}} \text{ przy warunku } S_1^2 > S_2^2 \quad (1)$$

Ogólnie zakłada się, że jest jeden czynnik, który ma wpływ na interesującą zmienię losową. W naszym przypadku czynnikiem tym był podział strop złoża i spąg a zmiennymi analizowanymi sześć parametrów skał. Taki czynnik może mieć charakter jakościowy lub ilościowy. Tymi trzema grupami były strop, złoża i spąg.

Jeżeli czynników podziału jest więcej, to stosuje się wtedy wieloczynnikową analizę wariancji lub inaczej wielokrotną klasyfikację. W tym przypadku stosowanie związek obliczeniowe są bardziej złożone i obszernie. Pojawia się wtedy problem interakcji czyli wzajemnych zależności między czynnikami, co utrudnia znacznie analizę statystyczną i oceną wyników.

Ogólnie (w tej pracy) założono, iż jest jeden czynnik, który może mieć wpływ na interesujące zmienne losowe W tym przypadku czynnikiem grupującym był podział górotworu na strop, wyrobisko i spąg, a zmiennymi losowymi sześć parametrów skał.

Formalnie hipoteza zerowa H_0 brzmi :

$H_0: x_1 = x_2 = \dots = x_k$ gdzie x_1, x_2, \dots, x_k oznaczają wartości średnie zmiennych, a liczba k oznacza liczbę grup w całej populacji.

Hipoteza alternatywna (zwana czasami przeciwną) jest formułowana następująco

H_1 : przynajmniej dwie spośród średnich x_1, x_2, \dots, x_k są różne.

Korzystamy wtedy z testu F Fishera–Snedecora postaci $F = S_1^2/S_2^2$ [4]. Pakiety statystyczne zawierają moduły obliczeniowe statystyki F wraz z ich oceną liczbową i komentarzem dla każdego przypadku.

Po obliczeniu wariancji S_1^2 i S_2^2 wyznacza się wartość statystyki $F = S_1^2/S_2^2$ przy warunku $S_1^2 > S_2^2$. Sprawdzenie hipotezy H_0 polega na obliczeniu wartości statystyki $F = F_{ob}$ obliczeniowej i porównaniu jej z wartością krytyczną F_{kr} obliczoną z tablic statystycznych [9]. W tablicach odczytuje się wartość krytyczną w oparciu o znane stopnie swobody licznika i mianownika statystyki $F = S_1^2/S_2^2$ oraz przyjętego poziomu istotności p .

Jeżeli $F_{ob} > F_{kr}$ to mówimy, że dany czynnik ma istotny wpływ na nasze pomiary, w przeciwnym przypadku, to znaczy gdy $F_{ob} < F_{kr}$, nie można stwierdzić, czy dany czynnik ma ten wpływ.

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch obszarów górniczych G–12 i G–14 kopalni „Rudna”. W każdym z obszarów dowierconych było po kilkadziesiąt otworów badawczych w stropie, w wyrobisku i spągu. W rejonach tych założonych zostało po kilkanaście stanowisk badawczych Każde stanowisko to wiercenia otworów w stropie, złożu spągu. W obu obszarach wyniki pomiarów parametrów górotworu połączono i otrzymano w ten sposób dwie obszerne bazy danych. Każda baza zawierała siedem kolumn (inaczej zmiennych losowych) w tym sześć parametrów skał i jedna kolumna (wektor) grupująca. Liczba rekordów (wierszy) wynosiła od 38 do 432. Była więc dostateczna liczba pomiarów, aby przeprowadzić analizy statystyczne. Wyniki obliczeń interpretowano oddzielnie dla każdego z dwóch rejonów.

4.2. Przyjęte oznaczenia

Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i w postaci graficznej. Jak już wspomniano, do obliczeń statystycznych zaprojektowano bazę danych, wprowadzając wektor kodujący zmienne. Wektor ten posłużył do analizy każdego z sześciu parametrów. I tak stropom nadano kod 3 wyrobiskom kod 2 a spągom 1.

Analizowano następujące układy badań:

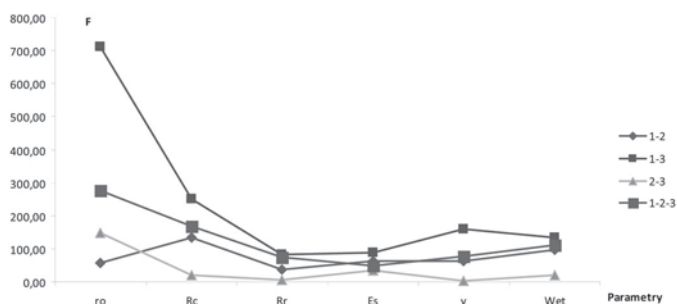
- spąg i wyrobisko — badanie B_{12} ,
- wyrobisko i strop — badanie B_{23} ,
- spąg–strop — badanie B_{13} ,
- spąg, wyrobisko–strop — badanie B_{123} .

Dla tych badań obliczono wartości statystyki F . Wyniki dla rejonu G–12 zestawiono w tabeli 1, a dla rejonu G–14 w tabeli 2. Obok wartości F podano liczbę pomiarów n . Wyniki doty-

czyły każdego z sześciu parametrów. Rysunki 1 i 2 przedstawiają graficznie rozkład statystyki F , co umożliwi ich interpretację. Na rysunkach tych przyjęto na osi odciętych kolejne parametry skał, a na osi rzędnych wartości statystyk F . Na osi Y został przyjęty przedział liczbowy od

TABELA 1
Wartości statystyki F dla rejonu G-12

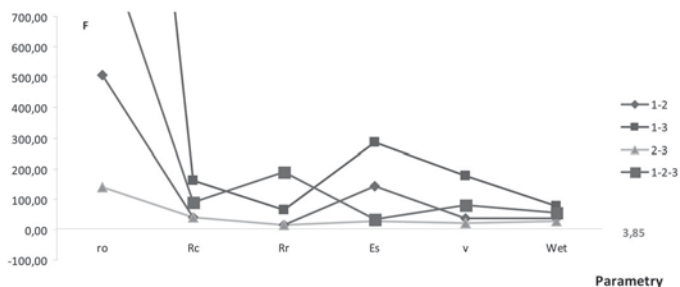
Badanie		Badanie skał					
		ρ_0	R_c	R_r	E_s	ν	W_{et}
B ₁₂	F	55,72	134,43	37,65	62,52	63,91	96,13
	n	365	273	92	276	88	273
B ₁₃	F	710,42	249,22	82,70	88,71	159,21	133,38
	n	346	259	86	261	86	260
B ₂₃	F	147,29	18,84	5,30	32,80	3,91	19,61
	n	145	109	136	115	38	109
B ₁₂₃	F	277,55	166,89	73,18	47,94	77,85	109,86
	n	428	321	323	107	106	321



Rys. 1. Rozkład wartości statystyki F dla parametrów dla rejonu G-12

TABELA 2
Wartości statystyki F dla rejonu G-14

Badanie		Badanie skał					
		ρ_0	R_c	R_r	E_s	ν	W_{et}
B ₁₂	F	506,43	39,90	14,60	143,54	35,78	36,15
	n	278	287	91	287	73	286
B ₁₃	F	2920,92	162,66	64,24	286,18	177,11	76,27
	n	262	275	87	275	71	274
B ₂₃	F	140,66	38,68	14,41	27,05	20,17	26,08
	n	134	100	34	100	32	100
B ₁₂₃	F	967,80	89,21	189,75	33,63	79,61	54,11
	n	438	331	331	106	88	330



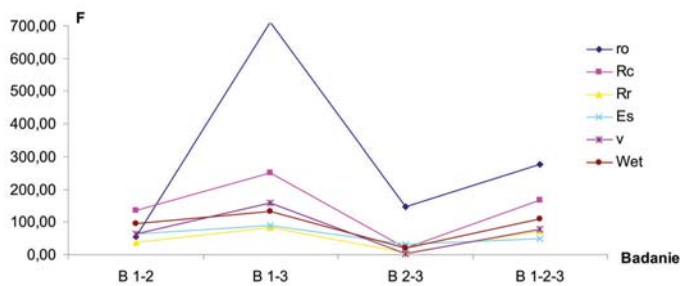
Rys. 2. Rozkład wartości statystyki F dla parametrów dla rejonu G-14

0 do 700 wiedząc, że dla parametru ρ_0 wartość F jest znacznie większa (tabela 2).

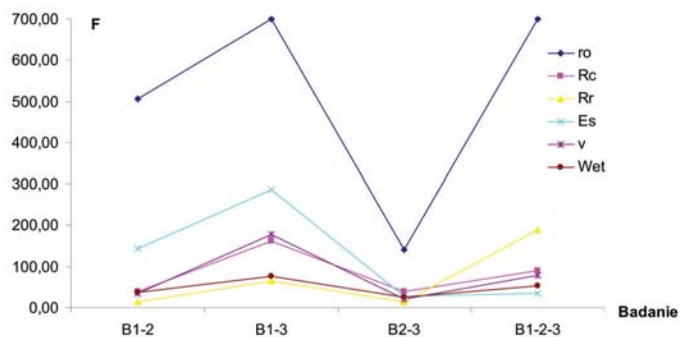
5. Obliczenia, tabele, wykresy

Obliczenia wykonano korzystając z pakietu statystycznego Statgraphics, będącego własnością Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej [8]. Posłużono się modułem analizy wariancji przy poziomie istotności $p = 0,06$.

Otrzymane wartości statystyki F można przedstawić jeszcze w innym układzie współrzędnych. Odkładając na osi odciętych kolejne badania B_{ij} , a na osi rzędnych wartości F ,



Rys. 3. Rozkład wartości statystyki F według badań B_{ij} dla rejonu G-12



Rys. 4. Rozkład wartości statystyki F według badań B_{ij} dla rejonu G-14

otrzymujemy wykresy jak na rysunkach 3 i 4. Rysunek 3 przedstawia łamane dla kolejnych parametrów skał dla rejonu G–12 a rysunek 4 dla rejonu G–14.

6. Omówienie wyników

Ogólnie można stwierdzić, iż dla wszystkich sześciu parametrów skał w obu rejonach górniczych G–12 i G–14, istnieją istotne różnice między stropem, złożem i spągami. Zatem gromadzenie wyników pomiarów parametrów oddzielnie dla stropów, wyrobisk i spągów jest uzasadnione. Tak też są przygotowywane arkusze kalkulacyjne w Pracowni Badania Fizykomechanicznych Własności Skał i Betonów znajdującej się w KGHM Cuprum we Wrocławiu. Jest to uzasadnione statystycznie, gdyż wszystkie obliczone wartości statystyki F są większe od wartości krytycznej $F = 3,91$. Analizując dokładnie wyniki pomiarów parametrów skał można powiedzieć, że istnieją różnice między oddziałami G–12 i G–14 kopalni „Rudna” a także między sześcioma parametrami górotworu. Z analizy statystycznej wynika, że oddział G–12 ma bardziej ustabilizowane przebiegi łamanych (rys. 1), co świadczy, że różnice między stropem, złożem a spągami są małe a przebiegi są zbliżone niezależnie od parametru. Szczególnie łamana zbliżona jest do prostej dla układu strop–złóże (B23). Podobnie jest dla układu spąg–złóże (B12), ale przy większych wartościach statystyki F . Znacznie większe różnice występują dla układu strop–spąg (B13) Dla rejonu górniczego G–14 różnice te są wyraźnie większe (rys. 2). Zachowany jest tylko stabilny przebieg łamanej dla układu złóże–strop (B23) o niskich wartościach F . Największą zmienność wykazują parametry dla układu spąg–złóże (B12.) (rys. 2).

Jeśli analizować przebieg łamanych, ze względem układu współrzędnych ($F - B_{ij}$), to można stwierdzić, że obserwujemy stabilizację („wiązka” łamanych) dla parametrów R_c , R_r , E_s , v , W_{et} . Odstępstwo wykazuje parametr ρ_0 , który ma duże różnice wartości F w zależności od badania B_{ij} . Taka sytuacja ma miejsce dla oddziału G–12. Nieco bardziej „rozproszone” są łamane dla oddziału G–14. Zbliżone wartości F obserwuje się dla parametrów R_c , R_r , v , W_{et} . Większą zmienność między badaniami można zauważyć dla E_s i bardzo dużą dla parametru ρ_0 .

Otrzymane wyniki świadczą o tym, że właściwości skał w stropie, spągu i złożu są różne, Dotyczy to oddziałów G–12 i G–14 kopalni „Rudna” części zachodniej.

LITERATURA

- [1] Bauer J., Galiński A., Lis J.: Podział skał górotworu wybranego rejonu ZG Lubin za pomocą analizy wariancji w celu oceny stateczności wyrobisk według teorii niezawodności. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice. 2005
- [2] Galiński A.: Ocena zależności między parametrami skał stropowych i spągowych na przykładzie wybranego rejonu kopalni „Rudna”. Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 29, Zeszyt 3/1, Wyd. AGH, Kraków, 2005
- [3] Galiński A., Lis J., Mróz J.: Ocena zależności pomiędzy geomechanicznymi parametrami skał złożowych i otaczających na przykładzie południowo-wschodniego rejonu kopalni „Lubin”.

XXV ZSMG, Wyd. Polit. Wrocławska, Wrocław, 2003

- [4] *Dziwiatkowski B.*: Analiza podziału górotworu na a strop, wyrobisko i spąg na przykładzie wybranego rejonu górniczego kopalni „Rudna”. Praca dyplomowa, WGGG Politechnika Wrocławska, Wrocław. 2010
- [5] *Galiński A., Lis J.*: Ocena geomechanicznych właściwości skał złożowych i otaczających metodą analizy wariancji w rejonie PZ II kopalni Polkowice–Sierszowice i porównanie jej za skałami w obszarach górniczych kopalni Lubin i Rudna
- [6] *Greń J.*: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PMN, Warszawa, 1975
- [7] Instrukcje i materiały ZG Rudna Dział Mechaniki i Obudowy Górotworu. Lubin, 2002
- [8] Pakiet statystyczny Statgraphics. Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej
- [9] *Zieliński R., Zieliński W.*: Tablice statystyczne. PWN, Warszawa, 1990