

METODYKA PORÓWNYWANIA OBRAZÓW GEOLOGICZNYCH

UKD 550.813 + 550.822.1 + 624.131.2/.7].001.36(438 – 35 piotrkowskie kop. Bełchatów)

W praktycznej działalności geologicznej i geologiczno-inżynierskiej zachodzi niekiedy potrzeba porównywania obrazów geologicznych, tj. map, przekrojów itp. stworzonych na podstawie interpretacji danych z wierceń, sondowań lub powstających w wyniku bezpośredniej obserwacji i kartowania np. skarp odkrywek i zwałowisk kopalń odkrywkowych (2).

Potrzeba taka zaistniała dla kopalni okrywkowej węgla brunatnego Bełchatów, gdzie wyniknął problem przydatności rozpoznania budowy geologicznej nadkładu złoża za pomocą wierceń bezrdzeniowych dla celów projektowania kopalni odkrywkowej. W oparciu głównie o takie wiercenia skonstruowany był model budowy geologicznej nadkładu, będący podstawą projektowania kopalni, rozcięcia nadkładu na poziomy górnicze, oceny stateczności skarp itp.

Odsłonięcie profilu gruntów robotami górniczymi i możliwości bezpośrednich obserwacji geologicznych na skarpach kopalni wykazały, że obraz budowy geologicznej czwarto- i trzeciorzędowych gruntów nadkładowych różni się niekiedy znacznie od modelu opartego na interpretacji profili wierceń. Powstało pytanie na ile (pomijając szczegóły),

rzeczywista budowa geologiczna różni się od stworzonego wcześniej modelu. Wizualne porównanie przekrojów geologicznych oraz ocena ich podobieństwa i różnic mogły mieć tylko charakter orientacyjny i bardzo subiektywny. Zaznaczył się tu brak zastosowań bardziej obiektywnych ilościowych (wskaźnikowych) kryteriów porównywania obrazów geologicznych.

Ogólnie biorąc porównanie może dotyczyć obrazów nie tylko dokładnie tego samego obiektu (linii przekroju) w różnych fazach jego rozpoznania, lecz i różnych obiektów geologicznych (oddalonych od siebie linii przekrojów geologicznych) w danej większej strukturze geologicznej. W pierwszym przypadku można oczekiwać, że zestaw wydzielen (ilości typów gruntu) będzie zbliżony lub identyczny i porównanie obrazów geologicznych będzie dotyczyło stopnia podobieństwa wyrażonego przede wszystkim udziałem powierzchniowym poszczególnych wydzielen oraz podobieństwem przestrzennego rozmieszczenia. W drugim przypadku, przy porównaniu oddalonych od siebie obiektów geologicznych mogą one różnić się nawet znacznie, jeśli chodzi o ilość typów wydzielen i ich porównanie może dotyczyć tylko charakteru rozmieszczenia tych wydzielen

w porównywalnych obrazach geologicznych (ocena charakteru zmienności).

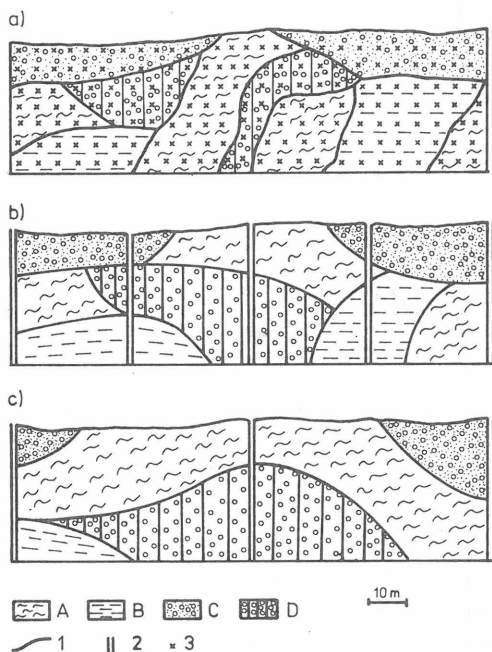
METODYKA PORÓWNYWANIA

Porównanie różnych obrazów geologicznych oddalonych od siebie linii przekrojów można przeprowadzić na drodze porównania miar wyrażających ich zmienność przedstawionych w (2). W tym celu można wykorzystać:

- histogramy udziałów powierzchniowych wydzielen w analizowanych przekrojach; ocena wizualna histogramów pozwala określić podobieństwo obrazów ze względu na typy wydzielen oraz wielkość udziałów powierzchniowych;
- entropię – określającą niejednorodność budowy geologicznej obiektów z punktu widzenia proporcji ilościowych wystąpień wyróżnionych wydzielen bez względu na ich typ;
- wskaźniki zmienności struktury i anizotropii budowy geologicznej porównywanych obrazów;
- funkcje autoasocjacji – opisują charakter rozmieszczenia wydzielen w obrębie porównywalnych profili; zróżnicowanie funkcji autoasocjacji można ocenić za pomocą ich średniej (bezwzględnej) odległości wyznaczonej ze wzoru:

$$\bar{\Delta b} = \frac{\sum_{i=1}^n |f_{A_1}(h) - f_{A_2}(h)|}{n}$$

gdzie: $f_{A_1}(h)$, $f_{A_2}(h)$ – wartości porównywanych funkcji autoasocjacji dla przesunięcia h ,
 n – liczba par porównywanych wartości



Ryc. 1. Profile geologiczno-inżynierskie skarpy dla różnych faz rozpoznania: a) profil rzeczywisty, b) profil sporządzony na podstawie 5 otworów, c) profil sporządzony na podstawie 3 otworów. A – mulki, B – ily, C – żwiry i piaski, D – gliny zwalowe. 1 – granice wydzielen, 2 – otwór wiertniczy, 3 – punkty porównania typu wydzielen (węzły sieci).

Fig. 1. Geological-engineering sections of an escarpment for different stages of surveys.

a – real section, b – section based on data from 5 drillings, c – section based on data from 3 drillings. A – muds, B – clays, C – gravels and sands, D – tills. 1 – boundaries of units, 2 – boreholes, 3 – points of comparison of type of unit (network junctions).

lub za pomocą średniej odległości względnej ustalonej ze wzoru:

$$\bar{\Delta w} = \frac{\sum_{i=1}^n |f_{A_1}(h) - f_{A_2}(h)|}{f_{A \max}} \cdot 100\%$$

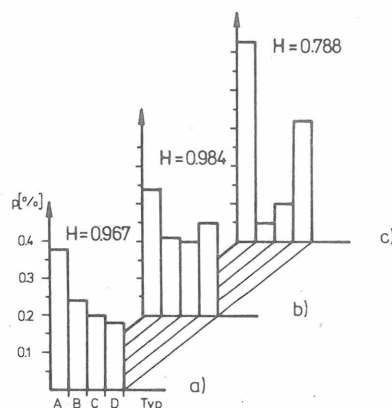
gdzie $f_{A \max}$ – większa z dwóch wartości $f_{A_1}(h)$, $f_{A_2}(h)$ dla danego przesunięcia h .

Przedstawione powyżej miary mogą być również wykorzystane do oceny podobieństwa obrazów geologicznych tego samego obiektu w różnych fazach jego rozpoznania. Nie wystarczają one jednak do określenia stopnia podobieństwa, a więc zarazem prawidłowości rozpoznania, co uzasadnia nakłady finansowe poniesione na jego przeprowadzenie. Najwłaściwsze wydaje się w tym celu porównanie powierzchni wystąpienia tych samych wydzielen w identycznych miejscach profilu. Można to osiągnąć, nakładając na siebie oba obrazy geologiczne i określając wielkość powierzchni wspólnego występowania wydzielen tego samego typu. Wielkość tej powierzchni odniesiona do powierzchni całego profilu może służyć jako miara podobieństwa porównywalnych obrazów. Z uwagi na pracochłonność, procedurę można uprościć, porównując oba obrazy w punktach stanowiących węzły pewnej sieci o położeniu ustalonym dla danego profilu.

Powstaje tu ten sam problem jak w przypadku badania autoasocjacji, dotyczący wyboru odległości między sąsiednimi punktami porównania. Ze wzrostem ilości punktów, a więc w miarę zmniejszania odległości między nimi, wzrastać będzie wiarygodność obliczonej wartości miary podobieństwa. Można w tym przypadku kierować się zasadą, iż sieć powinna być na tyle gęsta, aby w obrębie najmniejszego wydzielenia znalazł się co najmniej jeden punkt porównania. Współczynnik asocjacji będący miarą podobieństwa definiuje wzór (J.C. Davis, 1977):

$$r_A = \frac{n^*}{n}$$

gdzie: n^* – ilość punktów sieci, w których stwierdzono identyczne wydzielenia w obu obrazach,
 n – ilość punktów sieci znajdujących się w obrębie profilu.



Ryc. 2. Histogramy udziałów powierzchniowych wydzielen w profilu skarpy (dla różnych faz rozpoznania). H – entropia, a, b, c – jak na ryc. 1.

Fig. 2. Histograms of share of surface soil types in escarpment section (for different stages of surveys).

H – entropy, a, b, c – as explained in Fig. 1.

Określony w ten sposób współczynnik asocjacji przyjmuje wartości z przedziału (0,1); wartość 0 w przypadku zupełnego niepodobieństwa obrazów i 1 w przypadku identyczności obrazów.

W sposób opisowy stopień podobieństwa obrazów geologicznych można przedstawić klasyfikując wielkość współczynnika asocjacji, np. w sposób następujący:

- $r_A = 0-0,3$ – podobieństwo niezadowalające,
- $r_A = 0,3-0,5$ – „ słabe,
- $r_A = 0,5-0,7$ – „ dobre,
- $r_A = 0,7-0,9$ – „ bardzo dobre,
- $r_A = 0,9-1,0$ – „ wybitne.

Powyższy podział jest umowny i powinien być zweryfikowany na konkretnych przykładach. Granice klas należy bowiem tak dobrać, aby ustalony dla danej sytuacji współczynnik asocjacji pozwolił na ocenę prawidłowości rozpoznania obiektu geologicznego.

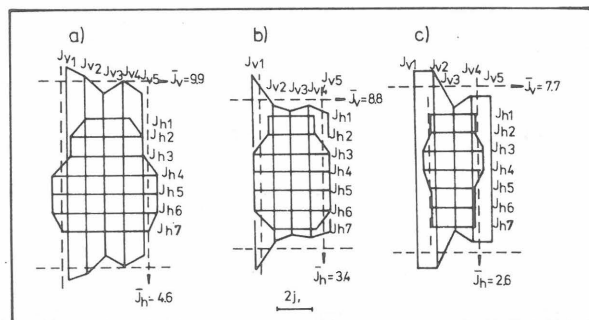
Porównanie obrazów geologicznych przedstawiono na przykładzie profilu odcinka skarpy we wkopie kopalni Bełchatów. Dla celów obliczeniowych profil geologiczny został uproszczony. Porównanie wykonano dla trzech obrazów geologicznych uzyskanych w trzech fazach rozpoznania na podstawie (ryc. 1):

- a) profilowania bezpośredniego odkrytej wskutek eksploatacji skarpy;
- b) wyników profilowania pięciu otworów wiertniczych,
- c) wyników profilowania trzech otworów wiertniczych.

Obraz uzyskany w wyniku bezpośredniego profilowania skarpy (obraz a) przyjęto za rzeczywisty i do niego odniesiono wyniki porównania. Dla każdego obrazu geologicznego określono miary charakteryzujące ich zmienność oraz wielkości współczynników asocjacji. Wyniki porównania obrazów geologicznych dla różnych faz rozpoznania obiektu przedstawiają się następująco:

1. Udziały powierzchniowe wydzielen p_i (A, B, C, D)

	obraz „a”	obraz „b”	obraz „c”
A	0,38	0,34	0,53
B	0,24	0,21	0,05
C	0,20	0,20	0,10
D	0,18	0,25	0,32



Ryc. 3. Wykresy zmienności budowy geologicznej skarpy dla różnych faz rozpoznania.

I_{h1}, I_{v1} – wartości wskaźników zmienności dla kierunku równoleżnikowego i południkowego, \bar{I}_h, \bar{I}_v – wartości średnie. a, b, c – jak na ryc. 1.

Fig. 3. Graphs of variability in geological structure of escarpment for different stages of surveys.

I_{h1}, I_{v1} – values of variability indices for latitudinal and longitudinal directions; \bar{I}_h, \bar{I}_v – mean values, a, b, c – as explained in Fig. 1.

2. Entropia

$$H = \frac{-\sum_{i=1}^m p_i \cdot \ln p_i}{\ln m}$$

$H_a = 0,967 \quad H_b = 0,984 \quad H_c = 0,788$

3. Wskaźniki zmienności ($I = \frac{n}{l}$)

$$\frac{\bar{I}_h(a)}{\bar{I}_h(b)} = 1,3 \quad \frac{\bar{I}_h(a)}{\bar{I}_h(c)} = 1,7$$

$$\frac{\bar{I}_v(a)}{\bar{I}_v(b)} = 1,1 \quad \frac{\bar{I}_v(a)}{\bar{I}_v(c)} = 1,3$$

$$\frac{\bar{I}_{NE-SW}(a)}{\bar{I}_{NE-SW}(b)} = 1,0 \quad \frac{\bar{I}_{NE-SW}(a)}{\bar{I}_{NE-SW}(c)} = 1,2$$

$$\frac{\bar{I}_{NW-SE}(a)}{\bar{I}_{NW-SE}(b)} = 1,5 \quad \frac{\bar{I}_{NW-SE}(a)}{\bar{I}_{NW-SE}(c)} = 1,7$$

$$\frac{\bar{I}(a)}{\bar{I}(b)} = 1,2 \quad \frac{\bar{I}(a)}{\bar{I}(c)} = 1,4$$

4. Anizotropia

$$A = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

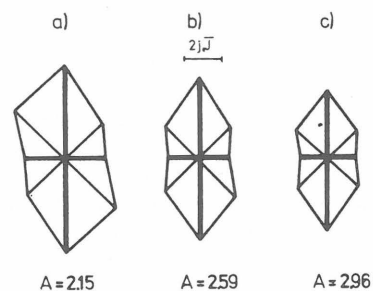
$A(a) = 2,2 \quad A(b) = 2,6 \quad A(c) = 2,9$

5. Współczynnik asocjacji ($r_A = \frac{n'}{n}$)

$r_A(a-b) = 0,35 \quad r_A(a-c) = 0,65$

gdzie: m – liczba wydzielen,

$\bar{I}_h, \bar{I}_v, \bar{I}_{NE-SW}, \bar{I}_{NW-SE}$ – wskaźniki zmienności odpowiednio dla orientacji równoleżnikowej, południkowej i przekątnej,
 \bar{I} – średni wskaźnik zmienności dla całego profilu,
 n, l – liczba wydzielen (n) rejestrowana wzdłuż linii pomiarowej o długości l ,
 I_{max}, I_{min} – wskaźnik zmienności dla kierunków największej i najmniejszej zmienności.



Ryc. 4. Indykatrysa wskaźników zmienności struktury geologicznej skarpy, a, b, c – jak na ryc. 1.

Fig. 4. Indicatrix of variability indices for geological structure of the escarpment.

a, b, c – as explained in Fig. 1.

Zgodnie z oczekiwaniem przedstawione w tabeli wyniki wskazują na znacznie większe podobieństwo między obrazem rzeczywistym i obrazem uzyskanym na podstawie pięciu utworów niż między obrazem rzeczywistym a obrazem uzyskanym na podstawie trzech utworów. W pierwszym przypadku w myśl zaproponowanej klasyfikacji podobieństwo obrazów można określić jako dobre ($r_A = 0,65$), zaś w drugim jako słabe ($r_A = 0,35$). Również wszystkie pozostałe miary zmienności (histogramy, entropia, wskaźnik zmienności, wskaźniki anizotropii) są bardziej zbliżone dla pary obrazów a i b niż pary a i c (ryc. 1, 2, 3).

PODSUMOWANIE

Zastosowanie odpowiedniej metody porównania obrazów (profilu) geologicznych zależy od charakteru porównania. W sytuacji, gdy porównuje się dwa obiekty geologiczne, różne ze względu na typy wydzielen utworów geologicznych, można porównywać je jedynie pod kątem ich zmienności. Do tego celu można wykorzystać histogramy udziałów powierzchniowych wydzielen, entropię, wskaźniki zmienności struktury i anizotropii oraz funkcje autoasocjacji.

W sytuacji, gdy przedmiotem porównania jest określenie podobieństwa obrazów geologicznych tego samego obiektu w różnych fazach jego rozpoznania, to wymienione wcześniej charakterystyki są niewystarczające. Prawdopodobieństwo rozpoznania obiektu rozumiana jako podobieństwo między obrazem rzeczywistym a obrazem uzyskanym na podstawie profilowania otworów wiertniczych może być oceniona za pomocą współczynnika asocjacji. Miara ta uwzględnia rozmieszczenie wyróżnionych typów gruntu w porównywanych obrazach.

LITERATURA

1. Cz et w i e r i k o w L. J. — Teorietičeskije osnovy modelirowanija tiet poleznych iskopajemych. Woroneż 1968

2. M u c h a J., R y b i c k i S. — Metody badania struktury (zmienności) obrazów geologicznych. Prze. Geol. 1985 nr 3.

S U M M A R Y

Two kinds of comparisons of images of geological objects are differentiated. One of them involves comparisons of images of two objects different in type of recognized units and it makes possible comparisons of variability of the objects only. The comparisons may concern histograms of share of surface units, etropy, indices of variability in structure and anisotropy, and autoassociation functions defined for each image. Comparison of the other type cover geological images of the same object, obtained at different stages of surveys. Therefore, the above mentioned numerical characteristics of variability appear insufficient for estimations of similarity of the images. This question may be solved by the use of the coefficient of association, proposed as a measure of similarity.

Р Е З Ю М Е

Выделены два типа сравнений изображений геологических объектов. В первом случае сравнение касается изображений двух разных объектов, учитывая типы выделений и оно возможно только с точки зрения их изменчивости. Предметом сравнения могут быть определенные для каждого изображения: гистограммы поверхностных участков выделений, показатели изменчивости структуры и анизотропии, функции автоассоциации. Во втором случае сравнение касается геологических изображений того-же объекта в разных фазах его разведки. Приведены выше числовые характеристики изменчивости являются в том случае недостаточным для определения подобия изображений. Предлагается применять коэффициент ассоциации в качестве меры подобия.