

Kazimierz TWARDOWSKI

Jacek TRAPLE

Akademia Górniczo-Hutnicza

OKREŚLANIE TYPÓW TECHNOLOGICZNYCH WĘGLI KAMIENNYCH
NA PODSTAWIE DANYCH GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki próby prognozowania typów technologicznych węgla kamiennych karbonu produktywnego GZW na podstawie materiałów geofizyki wiertniczej. Postawione zadanie rozwiązywano w oparciu o dane geologiczno-geofizyczne, dotyczące ponad 200 pokładów węgla kamiennego różnych typów, pochodzące z czterech badawczych odwiertów o głębokościach do około 2000 m. Dane geofizyki wiertniczej obejmowały wyniki następujących pomiarów: profilowania oporności sterowanego (POst), profilowań gamma (PG), neutron-gamma (PCGg) oraz profilowania średnicy (PSr). Metodyka rozwiązywania postawionego zadania bazowała na wykorzystaniu metod statystycznej klasyfikacji wielowymiarowych obiektów z nauczaniem (rozpoznawania obrazów).

1. WPROWADZENIE

Klasyfikację technologiczną węgla kamiennych i antracytów opartą na ich naturalnych własnościach fizykochemicznych, stosuje się do celów przemysłowo-handlowych. Pozwala ona wydzielać typy węgla, które mają podstawowe znaczenie dla utylizacji węgla.

Aktualnie obowiązująca w Polsce norma PN-82/G-97002 dzieli węgle kamienne na 8 typów o numeracji od 31-38, a węgle antracytowe na 3 typy o numeracji od 41 do 43. Podstawą tak dokonanego podziału są naturalne cechy węgla, charakteryzujące jego przydatność technologiczną. Do wskaźników określających najważniejsze właściwości węgla kamiennych w aspekcie ich przydatności zalicza się:

- zawartość części lotnych w węglu w przeliczeniu na substancję bezpopiołową i suchą (V_{daf}),
- zdolność spiekania wg Rogi (RI),
- dylatację (b),
- wskaźnik wolnego wydymania (SI),
- ciepło spalania węgla w przeliczeniu na substancję bezpopiołową i suchą (Q_s^{daf}).

Sortymentu (wielkości ziarn) i zawartości ciał obcych w węglu nie bierze się pod uwagę przy ustalaniu jego typu.

W handlu międzynarodowym obowiązuje międzynarodowa klasyfikacja węgla kamiennego, przyjęta przez Komitet Węglowy (ECE) w Genewie. Opiera się ona w zasadzie na tych samych parametrach węgla co i klasyfikacja polska.

Określenie typów technologicznych węgla w praktyce realizowane jest wyłącznie na podstawie wyników badań laboratoryjnych określonych własności fizykochemicznych prób węgla.

W przypadku geologicznych prac rozpoznawczych na obszarach zagłębi węglowych za pomocą wierceń, próby te pochodzą najczęściej z rdzeni wiertniczych. Wymaga to w zasadzie pełnego rdzeniowania otworów i z oczywistych względów jest uciążliwe technicznie i kosztowne.

W niniejszej pracy autorzy przedstawiają wyniki badania możliwości określania typów technologicznych węgla kamiennych w otworach wiertniczych w oparciu o kompleksową interpretację wyników pomiarów geofizyki wiertniczej. Fizyczne przesłanki możliwości rozwiązania powyższego zadania opierają się na stwierdzonych empirycznie i zweryfikowanych w praktyce zasadach różnicowania szeregu własności fizykochemicznych węgla w zależności od stopnia ich metamorfizmu i epigenezy oraz występowania ścisłych zależności korelacyjnych między tymi własnościami [np. 2, 3, 4, 5, 6].

Obiektywnymi wskaźnikami stopnia metamorfizmu i jakości węgla mogą być m.in. takie jego własności fizyczne, jak: porowatość, gęstość właściwa, oporność elektryczna, szybkość rozprzestrzeniania się fal sprężystych itp., mierzone metodami geofizyki wiertniczej. Równocześnie ogólnie wiadomo, że takie parametry fizykochemiczne i wskaźniki jakości węgla, jak: wydatek części lotnych, zawartość wilgoci, ciepło spalania, zawartości pierwiastków węgla, wodoru itp., również ściśle zależą od stopnia metamorfizmu węgla i często są wykorzystywane do ich charakterystyki.

Badania prowadzono na zlecenie Instytutu Geologicznego w Warszawie przy ścisłej współpracy z Oddziałem Górnośląskim IG w Sosnowcu na przykładzie czterech w pełni rdzeniowanych i wszechstronnie udokumentowanych badawczych otworów węglowych o głębokościach rzędu 2000 m, zlokalizowanych na obszarze polskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).

2. METODYKA BADAŃ

Każdą interpretację geologiczną danych pomiarowych geofizycznych można traktować jako procedurę empirycznego prognozowania. Oparta jest ona na empirycznych faktach i dostarcza ocen, których prawidłowość może być potwierdzona lub odrzucona w wyniku eksperymentu. Aktualny poziom rozwoju petrofizyki węgla i skał węglonośnych jest daleko niewystarczający do opracowywania zarówno deterministycznych, jak i deterministyczno-statystycznych modeli prognostycznych, możliwych do efektywnego stosowania w geofizyce węglowej [2, 4]. W związku z tym w praktyce rozwiązywanie zadań prognozowania może być realizowane jedynie przy podejściu statystycznym. Opiera się ono na założeniu o złożoności badanego systemu oraz praktycz-

nej niemożności (na danym poziomie poznania) jego opisu za pomocą ścisłych funkcjonalnych związków.

Opracowanie metodyki rozwiązywania konkretnego zadania geologicznej interpretacji danych geofizyki wiertniczej przy podejściu statystycznym sprowadza się do konstrukcji odpowiedniego modelu prognostycznego, stanowiącego regułę (funkcję) rozwiązującą. Określenie modelu prognostycznego opiera się przy tym na uogólnieniu informacji, dotyczącej odpowiednio licznego i reprezentatywnego zbioru obiektów wzorcowych, nazywanego często w literaturze (związaną zwłaszcza z metodami rozpoznawania obrazów) próbą wzorcową, treningową lub nauczającą. Uzyskiwana reguła, czyli funkcja rozwiązująca, stanowi swego rodzaju instrument ściśle sformalizowanej analizy porównawczej nowych badanych oraz dobrze poznanych, zbadanych uprzednio obiektów.

W świetle powyższych uwag zadanie określania typów węgla kamiennych w oparciu o dane geofizyki wiertniczej może być sformułowane i rozwiązywane jako jakościowe zadanie prognozowania (zadanie klasyfikacji), polegające na określaniu jakościowego (dyskretnego) stanu badanych obiektów (pokładów węgla). Jego istota polega na tym, że na podstawie wyników pewnej liczby pośrednich pomiarów geofizycznych, dotyczących określonego jednostkowego pokładu węgla, chcemy odnieść go do jednej z kilku ustalonych klas (typów).

Aktualnie najbardziej rozpowszechnionymi metodami konstrukcji modeli prognostycznych są w przypadku jakościowego prognozowania przede wszystkim metody rozpoznawania obrazów (metody klasyfikacji obiektów z "nauczeniem"). Oczywiście jest, że zadanie statystycznej klasyfikacji obiektów na poszczególne kategorie możliwe jest do efektywnego rozwiązania tylko wówczas, gdy te kategorie (klasy) różnią się między sobą istotnie.

Poszczególne klasy wielowymiarowych obiektów, opisanych cechami ilościowymi, w badaniach praktycznych reprezentowane są przez losowe próby empiryczne (grupy obserwacji o skończonej liczności). Jak wiadomo, każdą taką próbę można scharakteryzować w ogólnym przypadku dwoma parametrami:

- wektorem wartości średnich cech \bar{X} , będącym empiryczną oceną nieznanego wektora wartości oczekiwanych μ populacji,
- macierzą kowariancji K , będącą empiryczną oceną nieznannej macierzy kowariancji Σ populacji.

Wektor wartości średnich można traktować jako model przeciętnego obiektu przy przyjętej formalizacji, natomiast macierz kowariancji jest miarą rozproszenia wartości wszystkich cech i ich wzajemnych związków między sobą. W tych warunkach zadanie badania istotności różnic między kategoriami (klasami) obiektów wielowymiarowych może być formalnie sprowadzone do weryfikacji hipotez o równości macierzy kowariancji:

$$\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$$

oraz równości wektorów oczekiwanych:

$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_g$, charakteryzujących poszczególne porównywane populacje reprezentowane przez odpowiednie próby empiryczne (grupy) obiektów (g - oznacza tutaj ilość porównywanych populacji). Zadanie statystycznej klasyfikacji obiektów na poszczególne kategorie możliwe jest do rozwiązania wówczas, gdy odpowiadające im wektory wartości oczekiwanych nie są równe: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_g$.

W niniejszej pracy do testowania hipotezy o równości (homogeniczności, jednorodności) macierzy kowariancji wykorzystywano wielowymiarowy test Bartletta, rozwinięty przez Andersona, natomiast do badania różnic między wektorami wartości oczekiwanych - uogólnioną odległość Mahalanobisa D^2 [1, 7].

Weryfikacja hipotezy o równości macierzy kowariancji opiera się na asymptotycznym rozwinięciu funkcji rozkładu statystyki Bartletta V_1 , mającym postać:

$$W_1 = V_1 \cdot \frac{n^{1/2mn}}{g \prod_{r=1}^g n_r^{1/2mn_r}} \quad (1)$$

gdzie:

g - ilość porównywalnych prób empirycznych (grup obiektów),

m - ilość cech (parametrów), opisujących obiekty,

$n_r = N_r - 1$, przy czym N_r oznacza licznosc r -tej próby ($r = 1, 2, \dots, g$),

$n = \sum_{r=1}^g n_r = N - g$, gdzie N oznacza sumaryczną licznosc wszystkich prób,

$$V_1 = \frac{\prod_{r=1}^g |n_r \cdot K_r|^{1/2n_r}}{\left| \sum_{r=1}^g n_r \cdot K_r \right|^{1/2n}} \quad (2)$$

gdzie K_r oznacza macierz kowariancji r -tej próby.

Żeby stosować asymptotyczne rozwinięcie, należy określić wielkości

$$\rho = 1 - \left(\sum_{r=1}^g \frac{1}{n_r} - \frac{1}{n} \right) \cdot \frac{2m^2 + 3m - 1}{5(m+1)(g-1)} \quad (3)$$

oraz

$$\omega_2 = \frac{m(m+1) \left[(m-1)(m+2) \left(\sum_{r=1}^g \frac{1}{n_r} - \frac{1}{n^2} \right) - 6(g-1)(1-\rho^2) \right]}{48 \rho^2}. \quad (4)$$

Wówczas:

$$P \left\{ -\rho \cdot \ln W_1 \leq z \right\} = P \left\{ \chi_f^2 \leq z \right\} + \omega_2 \left[P \left\{ \chi_{f+4}^2 \leq z \right\} - P \left\{ \chi_f^2 \leq z \right\} \right] + O(n^{-3}),$$

gdzie:

$$f = \frac{1}{2}(g-1) \cdot m \cdot (m+1) \text{ oznacza liczbę stopni swobody.}$$

Jeżeli wielkość ω_2 jest mała, można przyjąć, że statystyka $-\rho \cdot \ln W_1$ ma rozkład χ^2 o liczbie swobody f .

Różnice między wektorami wartości średnich cech \bar{x}_1 oraz \bar{x}_j w odniesieniu do dwóch dowolnych grup (prób) obiektów o numerach i oraz j badano za pomocą uogólnionej odległości statystycznej Mahalanobisa:

$$D^2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_j) \cdot K^{-1} \cdot (\bar{x}_1 - \bar{x}_j)^T, \quad (6)$$

gdzie:

$K^{-1} = \left[\frac{1}{g}(K_1 + K_2 + \dots + K_g) \right]^{-1}$ - sumaryczna odwrócona macierz kowariancji wszystkich porównywalnych grup (prób),

T - znak transportowania macierzy.

W warunkach wielowymiarowych rozkładów normalnych i jednorodności (homogeniczności) macierzy kowariancji istotność różnicy między wielowymiarowymi średnimi grup o numerach i oraz j może być testowana za pomocą statystyki:

$$F = \frac{N_1 \cdot N_j (N_1 + N_j - m - 1)}{m(N_1 + N_j)(N_1 + N_j - 2)} \cdot D^2 \quad (7)$$

mającej rozkład F ze stopniami swobody m i $(N_1 + N_j - m - 1)$.

W przypadku istotnej różnicy między wektorami wartości średnich cech w dwu porównywalnych próbach (kategoriach) wielowymiarowych obiektów istnieje w pełni uzasadniona możliwość konstrukcji funkcji (reguły) rozwiązującej, dotyczącej statystycznej klasyfikacji badanych obiektów na te kategorie. Przy tym prawdopodobieństwo ogólnego błędu klasyfikacji $P(e)$ przy założeniu, że ceny oraz prawdopodobieństwa błędów 1 i 2 rodzaju są równe, można określić z relacji [1]:

$$P(\sigma) = \Phi\left(-\frac{\sqrt{D^2}}{2}\right), \quad (8)$$

gdzie:

$\Phi(x)$ - funkcja normalnego rozkładu.

3. WYNIKI BADAŃ

Jak już wspomniano we wstępie, badanie możliwości prognozowania typów węgla w oparciu o dane geofizyki wiertniczej prowadzono na przykładzie czterech badawczych otworów węglowych. Kompleks pomiarów geofizycznych realizowanych w tych otworach obejmował m.in. profilowania gamma (PG), neutron-gamma (PNG), gamma-gamma (PGG), oporności sterowane (POst) oraz średnicy (PŚr). Do próby empirycznej stanowiącej przedmiot badań włączono ze względów merytorycznych jednorodne geofizycznie (bez przewarstwień, skał płonnych) - warstwy węgla o miąższościach co najmniej 0,6 m. Tym sposobem uzyskano zbiór o licznosci N = 208, którego struktura z punktu widzenia typów węgla przedstawiona jest w tabeli 1. Jak widać, obejmuje

Tabela 1

Struktura badanego zbioru pokładów węglowych z punktu widzenia typów technologicznych węgla

| Typ węgla | | Ilość pokładów | Analizowane grupy pokładów | |
|-------------------|----------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| Nazwa | Wyróżnik | | Nr 1 | Licznosc N ₁ |
| Gazowo-płomien-ny | 32.1 | 40 | 1 | 40 |
| | 32.2 | 19 | 2 | 19 |
| Gazowy | 33 | 10 | 3 | 10 |
| Gazowo-koksowy | 34 | 48 | 4 | 48 |
| Ortokok-sowy | 35.1 | 28 | 5 | 28 |
| | 35.2 | 31 | 6 | 31 |
| Metakok-sowy | 36 | 13 | 7 | 19 |
| Semi-koksowy | 37 | 6 | | |
| Antracy-towy | 41 | 13 | 8 | 13 |

on dziewięć typów i podtypów węgla określanych wg polskiej normy PN-82/G-97002. Nie występują w nim jedynie węgle kamienne skrajnych typów 31 i 38 oraz węgle antracytowe typów 42 i 43. Ze względu na zbyt małą ilość

pokładów reprezentujących typ węgla 37 (zaledwie 6), połączono je z węglami sąsiedniego typu 36, tworząc mieszaną grupę pokładów obejmującą węgle typu 36 i 37. W ten sposób badany zbiór pokładów węglowych podzielony został na $g = 8$ grup pokładów, reprezentujących różne typy (klasy) węgla o zróżnicowanych licznosciach N_i od 10 do 40.

W celu zbadanie istotności różnic pomiędzy poszczególnymi grupami pokładów węgla, opisanych zestawem rejestrowanych w otworach parametrów geofizycznych, wykorzystano wyżej opisaną metodykę. Ze względu na stosunkowo małe licznosci niektórych grup w obliczeniach uwzględniono ograniczoną ilość parametrów (ich ilość nie może być mniejsza od licznosci poszczególnych grup). Na podstawie oceny przydatności (użyteczności, informatywności) poszczególnych parametrów geofizycznych w procesie rozpoznawania typu węgla dokonanej w pracy [5], w obliczeniach uwzględniono sześć następujących parametrów opisujących poszczególne pokłady węgla:

- średnią głębokość zalegania pokładu H w m,
- maksymalną oporność pozorną rejestrowaną sondą sterowaną $\rho_{\text{Post}}^{\text{max}}$ w om,
- minimalną rzeczywistą średnicę otworu d^{min} w mm,
- maksymalne wskazania $PG - I_{\text{f}}^{\text{max}}$ w uR/h,
- maksymalne wskazania $PNG - I_{\text{n}}^{\text{max}}$ w jednostkach standaryzatora,
- średnie wskazania PGG wyrażone ogólnie znanym względem podwójnym parametrem różnicowym ΔI_{ff} .

Zakresy zmienności ($x_{\text{min}}, x_{\text{max}}$) i oceny podstawowych charakterystyk statystycznych (wartość średnia \bar{x} , odchylenie standardowe S/x) empirycznych rozkładów analizowanych parametrów przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2

Oceny statystycznych charakterystyk empirycznych rozkładów wybranych parametrów geofizycznych opisujących badane pokłady węglowe ($N = 208$)

| Parametr x | \bar{x} | x_{min} | x_{max} | $S(x)$ |
|-----------------------------------|-----------|------------------|------------------|--------|
| H | 886,7 | 85,9 | 1874,0 | 440,7 |
| h | 1,36 | 0,60 | 7,10 | 1,07 |
| $\rho_{\text{Post}}^{\text{max}}$ | 294,7 | 20,1 | 1130,0 | 258,1 |
| d^{min} | 160,6 | 106,6 | 266,3 | 25,3 |
| $I_{\text{f}}^{\text{max}}$ | 13,08 | 4,59 | 21,95 | 3,39 |
| $I_{\text{n}}^{\text{max}}$ | 162,8 | 32,3 | 628,7 | 69,2 |
| ΔI_{ff} | 0,65 | 0,12 | 0,95 | 0,26 |

W dalszych obliczeniach wartości oporności $\rho_{\text{Post}}^{\text{max}}$ ze względu na ich ewidentnie logarytmiczno-normalny charakter rozkładu [5] były logarytmowane.

Wyniki statystycznego badania zróżnicowania wybranych parametrów geofizycznych opisujących pokłady węglowe reprezentujące poszczególne typy węgla w analizowanych otworach przedstawione są w tabeli 3.

Z analizy sektorów wartości średnich parametrów geofizycznych (tabela 3 A) wynika m.in., że typ węgla (jego stopień metamorfizmu) zależy silnie od głębokości zalegania pokładów H, wpływając na zróżnicowanie przede wszystkim rejestrowanych oporności elektrycznych ρ_{Post} i wskazań PNG. Ze wzrostem głębokości H generalnie rośnie stopień metamorfizmu węgla (wzrastają wyróżniki typu węgla), co zgodne jest ze znaną regułą Hilita. Przeciętne oporności $\rho_{\text{Post}}^{\text{max}}$ dla niższych typów węgla (od 32 do 34) generalnie maleją, zaś dla typów wyższych (od 34 wzwyż) regularnie rosną. Wskazania profilowania neutronowego I_{n0}^{max} wraz ze wzrostem wyróżnika typu węgla generalnie rosną. Powyższe tendencje zgodne są z danymi literaturowymi [np. 2, 3, 5, 6].

Zbiór macierzy kowariancji dotyczących poszczególnych grup pokładów węgla nie jest statystycznie jednorodny (homogeniczny), o czym świadczą wartości statystyki χ^2 $\ln W_1$ przewyższająca odpowiednią wartość krytyczną χ_{kr}^2 (tabela 3 B).

W tabeli 3 C przedstawione są wyniki testowania istotności różnic między wielowymiarowymi średnimi dotyczącymi poszczególnych porównywanych typów węgla. W przypadku potwierdzonych przy poziomie istotności $q = 0,5$ istotnych różnic określone są górne kresy prawdopodobieństwa ogólnego błędu klasyfikacji $P(e)$ w %. Analiza tabeli 3 C wykazuje, że przy uwzględnieniu sześciu wyżej przedstawionych parametrów geofizycznych istnieje w pełni uzasadniona możliwość konstrukcji funkcji (reguł) rozwiązujących zadania statystycznej klasyfikacji badanych pokładów z punktu widzenia typu węgla. Poszczególne porównywane typy węgla różnią się między sobą istotnie z wyjątkiem trzech przypadków dotyczących sąsiadujących ze sobą w szeregu uwęglenie typów węgla: 32.2 i 33, 33 i 34 oraz (36 + 37) i 41. Różnice te szybko przy tym wzrastają wraz ze wzrostem "odległości" pozycji zajmowanych przez porównywane typy węgla w uporządkowanym szeregu uwęglenie (tj. ze wzrostem różnicy w stopniu uwęglenia substancji organicznej).

Pewność (wiarygodność) statystycznej klasyfikacji pokładów węgla na poszczególne jego typy rośnie od 70-85% w przypadku możliwych do rozdzielenia "sąsiednich" typów węgla (np. 34 i 35.1, 35.1 i 35.2) do 90-99% w przypadku typów węgla różniących się trzema i więcej pozycjami zajmowanymi w uporządkowanym schemacie klasyfikacyjnym (np. 32.1 i 34, 32.2 i 35.1, 35.1 i 41).

Tabela 3

Wyniki statystycznego badania zróżnicowania wybranych parametrów geofizycznych opiewających poszczególne typy węgla w analizowanych odwiertach

A) Wektory wartości średnich parametrów geofizycznych dla poszczególnych typów węgla

| x | Typ | 32.1 | 32.2 | 33 | 34 | 35.1 | 35.2 | 36+37 | 41 |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| H | | 329,9 | 658,7 | 933,7 | 768,7 | 904,0 | 1208,8 | 1519,3 | 1607,2 |
| $\ln \sigma$ | σ^{\max} σ^{post} | 5,634 | 5,545 | 5,508 | 4,801 | 4,975 | 5,303 | 5,478 | 5,589 |
| d | d^{\min} | 165,6 | 154,6 | 157,9 | 165,6 | 163,6 | 156,9 | 153,1 | 150,8 |
| I | I_{σ}^{\max} | 14,64 | 13,71 | 13,54 | 12,07 | 13,38 | 11,65 | 12,74 | 13,93 |
| I | $I_{n \sigma}^{\max}$ | 122,7 | 123,1 | 121,3 | 154,6 | 188,4 | 185,0 | 208,7 | 231,4 |
| ΔI_{σ}^{\max} | | 0,43 | 0,62 | 0,81 | 0,67 | 0,65 | 0,69 | 0,68 | 0,67 |

B) Wyniki testowania jednorodności zbioru macierzy kowariancji dotyczących poszczególnych typów węgla.

$$\ln W_1 = -306,6 \quad \rho = 0,873$$

$$\omega_2 = 0,561 \quad f = 147$$

$$\rho \ln W_1 = -267,8 \quad \chi^2_{kr} = (0,05; 147) = 176,3$$

cd. tabeli 3

c) Wyniki testowania istotności różnic między wielowymiaramymi średnimi dotyczącymi poszczególnych typów węgla. Wyniki przedstawiają odpowiednio wartości ocen $\frac{D^2}{F} \left(\frac{F_{kr}}{P(\alpha)}, x \right)$

| Typ węgla | 32.1 | 32.2 | 33 | 34 | 35.1 | 35.2 | 36+37 | 41 |
|-----------|------|--|---|---|---|---|---|--|
| 32.1 | 0 | $\frac{4,25}{8,32} \left(\frac{2,27}{15,2} \right)$ | $\frac{12,82}{15,31} \left(\frac{2,31}{3,7} \right)$ | $\frac{10,48}{39,91} \left(\frac{2,21}{5,3} \right)$ | $\frac{16,74}{42,74} \left(\frac{2,25}{2,0} \right)$ | $\frac{32,02}{86,45} \left(\frac{2,24}{0,2} \right)$ | $\frac{57,02}{111,67} \left(\frac{2,27}{\sim 0} \right)$ | $\frac{66,79}{98,52} \left(\frac{2,30}{\sim 0} \right)$ |
| 32.1 | + | 0 | $\frac{2,62}{2,33} \left(\frac{2,55}{9} \right)$ | $\frac{2,54}{5,32} \left(\frac{2,25}{21,2} \right)$ | $\frac{5,89}{10,03} \left(\frac{2,34}{11,1} \right)$ | $\frac{16,11}{28,33} \left(\frac{2,32}{2,2} \right)$ | $\frac{35,61}{48,55} \left(\frac{2,41}{0,1} \right)$ | $\frac{43,41}{46,54} \left(\frac{2,49}{0,1} \right)$ |
| 33 | + | 0 | 0 | $\frac{1,71}{2,15} \left(\frac{2,27}{B} \right)$ | $\frac{2,36}{2,50} \left(\frac{2,41}{22,1} \right)$ | $\frac{8,08}{8,87} \left(\frac{2,38}{7,8} \right)$ | $\frac{822,06}{19,63} \left(\frac{2,55}{0,9} \right)$ | $\frac{27,99}{20,09} \left(\frac{2,74}{0,4} \right)$ |
| 34 | + | + | 0 | 0 | $\frac{1,32}{3,64} \left(\frac{2,23}{28,4} \right)$ | $\frac{7,38}{21,65} \left(\frac{2,23}{8,7} \right)$ | $\frac{22,17}{46,42} \left(\frac{2,25}{0,9} \right)$ | $\frac{28,78}{44,92} \left(\frac{2,27}{0,4} \right)$ |
| 35.1 | + | + | + | + | 0 | $\frac{3,28}{7,34} \left(\frac{2,27}{18,1} \right)$ | $\frac{13,00}{23,13} \left(\frac{2,34}{3,1} \right)$ | $\frac{18,66}{24,07} \left(\frac{2,38}{1,5} \right)$ |
| 35.2 | + | + | + | + | + | 0 | $\frac{4,17}{7,33} \left(\frac{2,32}{15,4} \right)$ | $\frac{7,48}{10,06} \left(\frac{2,36}{8,7} \right)$ |
| 36+37 | + | + | + | + | + | + | 0 | $\frac{0,61}{0,65} \left(\frac{2,49}{B} \right)$ |
| 41 | + | + | + | + | + | + | 0 | 0 |

x) Ułamki przed nawiasem przedstawiają oceny empiryczne statystyk: w liczniku - D^2 , a mianowniku - F. Ułamki w nawiasie: w liczniku - krytyczne wartości statystyki F przy poziomie istotności $q = 0,05$, w mianowniku oceny prawdopodobieństwa błędu klasyfikacji $P(\alpha)$ w %.

4. UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania wykazały możliwość określania typów technologicznych węgla w oparciu o dane geofizyki wiertniczej. Praktyczna realizacja statystycznej klasyfikacji pokładów węglowych z punktu widzenia typu węgla w pełni to potwierdziła [5]. Pewność (wiarygodność) klasyfikacji rośnie przy tym szybko wraz ze wzrostem "odległości" pozycji, zajmowanych przez poszczególne typy węgla w uporządkowanym szeregu uwęglenia, tj. ze wzrostem różnicy w stopniu uwęglenia substancji organicznej. Efektywność rozpoznawania typów węgla ulega dalszej poprawie w przypadku uwzględnienia w kompleksowej interpretacji większej ilości parametrów geofizycznych. Pełne wykorzystanie użytecznej informacji zawartej w pomiarach geofizycznych wymaga wówczas na ogół łączenia metod rozpoznawania obrazów z metodami analizy głównych składowych i analizy czynnikowej.

LITERATURA

- [1] Anderson T.W.: Introduction to multivariate statistical analysis. John Wiley and Sons, New York, 1958.
- [2] Greczuchin W.W.: Izuczenije uglenosnych formacij geofiziceskimi metodami. Izd. "Niedra", Moskwa 1980.
- [3] Greczuchin W.W. i in.: Zakonomiernosti izmienenija fiziceskich swojstw uglenosnych porod i prognoz metamorfizma uglej po ploszczadi Kuznieckogo bassiejna. Prikladnaja geofizyka, wyp. 94 Izd. "Niedra", Moskwa 1979.
- [4] Twardowski K. i in.: Ocena możliwości identyfikacji typów litologicznych skał w profilu utworów karbonu w oparciu o wyniki badań geofizyki wiertniczej. Instytut Wiertniczo-Naftowy AGH, Kraków 1983.
- [5] Twardowski K. i in.: Ocena możliwości prognozowania fizykochemicznych własności węgla w wytypowanych otworach GZW na podstawie materiałów geofizyki wiertniczej. Instytut Wiertniczo-Naftowy AGH, Kraków 1983.
- [6] Wojewoda B.I.: Ispolzowanije udielnogo elektriceskogo soprotiwlenija uglenosnych otłożenij dla izuczenija ich litologii i merocznego sootawu uglej w Doneckom bassiejne. Rozwiedocznaja geofizyka, wyp. 81 Izd. "Niedra", Moskwa 1978.
- [7] Wolleben J.A., Pauken R.J., Dearien J.A.: FORTRAN IV program for multivariate paleontologic analysis using IBM System 360 model 40 computer. Computer contribution 20. Kansas Geological Survey, University of Kansas, Lawrence 1968.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВИДОВ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ
НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ БУРОВОЙ ГЕОФИЗИКИ |

Р е з ю м е

В статье представлены результаты попыток прогнозирования технологических видов каменных углей продуктивного карбона ГУБ на основании материалов буровой геофизики, охватывающие более 200 пластов каменного угля различного вида, происходящих из четырех опытных скважин с глубиной около 2000 м. Данные буровой геофизики охватывали результаты следующих измерений: каротажа сопротивления управляемого (PO_g), каротажа гамма (PO_{gt} , нейтрон-гамма (PGG) а также каротажа диаметра (P_{gr}). Метод решения поставленной задачи основывается на использовании методов статистической классификации многомерных объектов с обучением (распознавание образов).

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL TYPES OF COAL ON THE BASIS
OF DRILLING GEOPHYSICS DATA

S u m m a r y

In the paper have been presented the results of an attempt to prognose the technological types of coal of the productive Carboniferous in the Upper Silesia Coal Basin on the basis of the drilling geophysics materials. The given problem has been solved on the basis of the geological-geophysical data from over 200 coal beds of different types, coming from four testing bore-holes, the depth of which reaches 2.000 m. Among the drilling geophysics data are the results of the following measurements: resistivity profiling (PO_g), controlled profiling (PO_{gt}), gamma ray profiling (PG), neutron-gamma ray profiling (PNG), density gamma-gamma ray profiling (PGG) and diameter profiling (P_{gr}). The methods of solution of the given task were based on the application of the statistical classification methods of the polydimensional objects with teaching (of image identification).