

WOJCIECH MASTEJ\*

## Zastosowanie metod rozpoznawania obrazów i metod geostatystycznych do wskazywania cynkowo-olowiowych ciał rudnych w złożu Trzebieonka z rejonu śląsko-krakowskiego<sup>1</sup>

Słowa kluczowe

Złoża Zn-Pb, rozpoznawanie obrazów, informatywność cech, geostatystyka

Streszczenie

Zastosowano metody rozpoznawania obrazów (met. funkcji potencjalnej i met. Kora-3) oraz metodę geostatystyczną do wskazywania zasięgu ciał rudnych Zn-Pb na złożu „Trzebieonka” koło Chrzanowa. Użyto cech litologiczno-stratygraficznych, pochodzących z dokumentacji geologicznej otworów wiertniczych oraz danych o intensywności mineralizacji. Wykonane testy dowodzą, że w przypadku otworów bilansowych o niskiej wydajności, odwierconych w latach pięćdziesiątych, zaproponowana metodyka umożliwia często niwelację błędów w interpretacji analiz chemicznych rdzeni na zawartość Zn i Pb. Może ona być zatem traktowana jako wspomagająca podejście standardowe.

### Wprowadzenie

Złożo „Trzebieonka”, jak i inne złoża Zn-Pb obszaru śląsko-krakowskiego, jest związane z utworami węglanowymi, goszczącymi epigenetyczną mineralizację rudną (typ Mississippi Valley). Ciała rudne występują najczęściej w dość regularnych horyzontach rudnych, jednak ich granice wewnątrz horyzontów są bardzo nieregularne. Stwarza to pewne trudności w projektowaniu kierunków eksploatacji. Innym utrudnieniem jest niekiedy niska wiarygodność

---

\* Dr inż., Zakład Geologii Ogólnej i Matematycznej, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków.

Recenzował prof. dr hab. inż. Janusz Kotlarczyk

---

<sup>1</sup> Praca finansowana z umów 11.140.598 i 10.10.140.521, prezentuje niektóre wątki rozprawy doktorskiej autora.

informacji pochodzącej z dokumentacji otworów geologicznych. Ma to szczególne znaczenie, ponieważ w niniejszej pracy wykorzystywano wyłącznie dane pochodzące z dokumentacji otworów. Złoże Trzebionka jest pokryte siecią 357 otworów, z których 84 odrzucono przed rozpoczęciem badań, gdyż Kopalniana Służba Geologiczna uznała je za niewiarygodne. W odniesieniu do pozostałych 273 otworów wiadomo było jednak, że wiarygodność 161 spośród nich była niższa, gdyż zostały one odwiercone w latach pięćdziesiątych, kiedy technika wiertnicza nie była satysfakcjonująca. W tych starszych otworach duże partie rdzeni wiertniczych były często tracone albo następowała podczas wiercenia selektywna utrata minerałów płonnych i pozorne wzbogacenie w minerały rudne. Powodowało to błędy w chemicznym oznaczaniu zawartości Zn i Pb i ostatecznie — błędy we wskazywaniu zasięgów ciał rudnych.

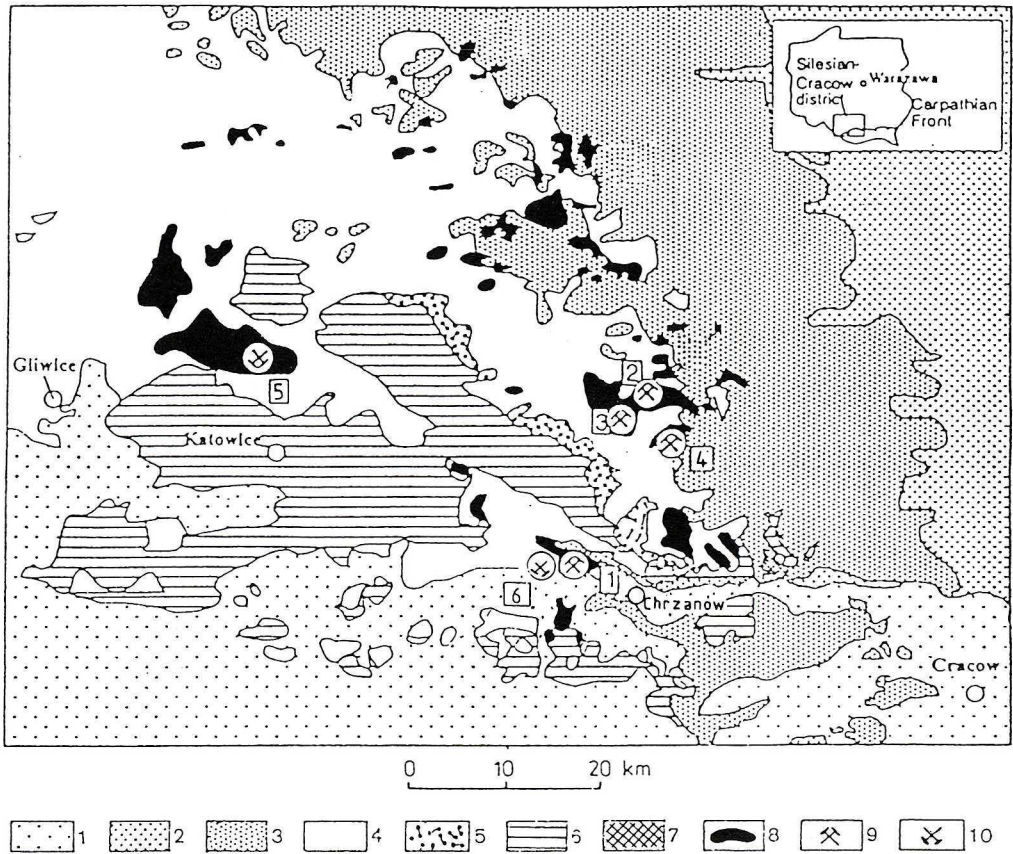
Nasuwa się zatem pytanie związane z możliwością przeprowadzenia prospekcji w oparciu o dane wiertnicze, a mianowicie, czy oprócz zawartości metali istnieją jakieś inne parametry, które by spełniły dwa warunki: 1 — byłyby związane z mineralizacją; 2 — byłyby mniej wrażliwe na błędy spowodowane selektywną utratą rdzenia? M. Szuwarzyński (1996) stwierdza, że istnieją dwa główne czynniki kontrolujące rozkład mineralizacji rudnej: czynnik litologiczny (litostratygraficzny), wyrażający się powstawaniem horyzontów zawierających tabularne, metasomatyczne ciała rudne, oraz czynnik tektoniczny, przejawiający się związkami mineralizacji z uskokami. Te dwa główne czynniki można opisać za pomocą wielu parametrów. Można założyć, że parametry te spełnią dwa postawione wyżej warunki. Co do ich związku z mineralizacją, wydaje się, że mają one wpływ nie tylko na powstanie horyzontów rudnych, ale też na rozkład mineralizacji wewnątrz samych horyzontów, a więc, w ostatecznym rozrachunku — także na przebieg granic ciał rudnych w planie. Najprawdopodobniej są one także bardziej odporne na błędy wynikłe ze selektywnej utraty rdzenia wiertniczego w porównaniu z parametrami mierzącymi wprost zawartości Zn i Pb.

Gdyby postulaty powyższe potwierdziły się, to użycie takich cech spośród zbioru parametrów litologiczno-stratygraficznych i tektonicznych, które wykazują związek z obecnością ekonomicznej mineralizacji, stworzyłoby atrakcyjną możliwość prognozowania granic ciał rudnych. Zastosowanie metod rozpoznawania obrazów (MRO) pozwalałoby przekształcić takie wielowymiarowe dane w jeden tylko parametr, wyrażający się w stopniu przynależności każdego otworu do klasy otworów złożowych. Zastosowanie metod geostatystycznych umożliwiłoby z kolei interpolację otrzymanych wartości prawdopodobieństwa i wyrysowanie mapy izoliniowej tego parametru.

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie, czy uwzględnienie cech litologiczno-stratygraficznych i tektonicznych, otrzymanych z dokumentacji geologicznej otworów wiertniczych, spowoduje polepszenie prognozy horyzontalnych zasięgów ciał rudnych, dokonywanej standardowo z użyciem parametru zawartości metali. Jakość nowej prognozy będzie weryfikowana w rejonach wyeksploatowanych, poprzez konfrontację uzyskanych wyników z ujawnionym górnictwem rozkładem ciał rudnych i stref płonnych. Praca ma głównie charakter metodyczny, chociaż, mimo znacznego wyeksploatowania śląsko-krakowskich złóż rud Zn-Pb, mogą z niej wynikać wnioski praktyczne.

## 1. Geologiczne warunki występowania złoża Trzebieńka

Złoże Trzebieńka leży w okolicy Chrzanowa, w części SW regionu śląsko-krakowskiego, w południowej Polsce (rys. 1). Złoże zajmuje prawie w całości NE skrzydło synkliny chrzanowskiej, a nawet ku NW wykracza poza synklinę. Synklina ta, wypełniona osadami triasu, jury i płatami miocenu, rozciągnięta jest w kierunku NW-SE i otoczona skałami górnokarbońskimi, niekiedy permскими. Całość jest częściowo przykryta osadami czwartorzędowymi.



Rys. 1. Rozmieszczenie złóż i kopalń rud Zn-Pb w regionie śląsko-krakowskim (za E. Górecką, 1993, zmienił) 1 — trzeciorzęd, 2 — kreda, 3 — jura, 4 — trias, 5 — perm, 6 — karbon, 7 — dewon, 8 — złoża rud siarczkowych Zn-Pb, 9 — kopalnie czynne: [1] — kopalnia Trzebieńka, [2] — kopalnia Pomorzany, [3] — kopalnia Bolesław, [4] — kopalnia Olkusz; 10 — kopalnie wyeksploatowane: [5] — rejon Bytomia z kopalniami: Bytom, Orzeł Biały, Waryński i Nowy Dwór, [6] — kopalnia Matyllda

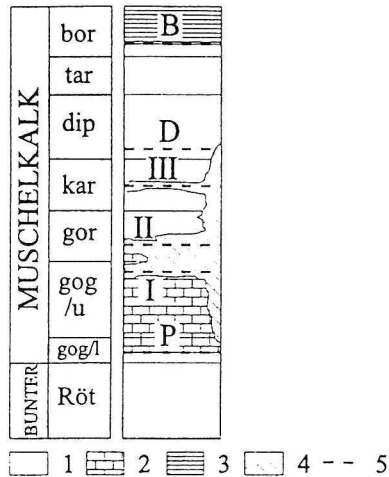
Fig. 1. Location of the ore deposits and the mines in the Silesian-Cracow zinc-lead district (modified from E. Górecka, 1993)

1 — Tertiary, 2 — Cretaceous, 3 — Jurassic, 4 — Triassic, 5 — Permian, 6 — Carboniferous, 7 — Devonian, 8 — Zn-Pb sulfide deposits, 9 — active mines: [1] — Trzebieńka mine, [2] — Pomorzany mine, [3] — Bolesław mine, [4] — Olkusz mine; 10 — exhausted mines: [5] — Bytom region includes the Bytom, Orzeł Biały, Waryński and Nowy Dwór mines, 6 — Matyllda mine



Mineralizacja rudna skupia się w obrębie sześciu ułożonych kulisowo, skośnie do uławicenia, horyzontów rudnych (rys. 2). Cztery spośród nich (I, II, III, D) są usytuowane w epigenetycznym dolomicie kruszczośnym (dalej będzie używany skrótowiec DK; wiek — dolny wapień muszlowy, trias środkowy). Powstały one w końcowym okresie ruchów staro-kimeryjskich (dolna jura), po utworzeniu się DK (Szuwarzyński 1986a). M. Szuwarzyński (1983a, 1986a, 1993, 1996) stwierdza, że horyzonty rudne są związane z paleopoziomami wodonośnymi, które są z kolei determinowane litologią utworów triasowych. Ekonomiczne koncentracje kruszcu w formie płytowych ciał rudnych grupują się w trzech horyzontach (I, II, III).

Dokładną lokalizację ciał rudnych w planie złoża Trzebionka przedstawiono na mapach prognostycznych (zob. np. rys. 8A). Są to ciała rozumiane w sensie górniczym (dalej będzie używany skrótowiec GCR — górnicze ciało rudne; strefy nierudne w sensie górniczym będą oznaczane NGCR), tzn. ich granice zostały ustalone w trakcie eksploatacji kruszców. Na mapach tych zaznaczone są także granice obszarów górniczych: A — zaznaczony grubą linią obszar zajęty robotami górniczymi do 1995 r. (tylko z tego obszaru wykorzystano dane



Rys. 2. Geometryczny model złóż rud Zn-Pb w sekwencji węglanowej triasu w rejonie Chrzanowa (za M. Szuwarzyńskim 1996, zmienione)

1 — dolomity „pierwotne”, 2 — wapienie i margle, 3 — hupki ilaste i piaskowce, 4 — epigenetyczny dolomit kruszczośny, 5 — horyzonty rudne, kontrolowane przez litostratygrafię, Bunter — pstry piaskowiec, Muschelkalk — wapień muszlowy, ogniwa litostratygraficzne: Röt — ret, gog/l — warstwy gogolińskie dolne, gog/u — warstwy gogolińskie górne, kar — warstwy karchowickie, dip — dolomity diploporowe, tar — warstwy tarnowickie, bor — warstwy boruszowickie; I, II i III — horyzonty z eksploatowanymi ciałami rudnymi, P, D i B — horyzonty z nieekonomicznymi koncentracjami metali

Fig. 2. Geometrical model of Zn-Pb ore deposits in the Triassic carbonate sequence in the Chrzanów region (modified from M. Szuwarzyński 1996)

1 — “primary” dolomites, 2 — limestones and marls, 3 — argillites and sandstones, 4 — epigenetic ore-bearing dolomite, 5 — litostratigraphy-controlled ore horizons; litostratigraphic units: gog/l — Lower Gogolin Beds, gog/u — Upper Gogolin Beds, kar — Karchowice Beds, dip — Diplopora Dolomite, tar — Tarnowice Beds, bor — Boruszowice Beds; I, II i III — horizons with mineable ore bodies, P, D i B — horizons with non-economic concentration of metals



o położeniu GCR) oraz zaznaczone cieńszą linią obszary dołączone później: B1 — cypel na SW od obszaru A, B2 — cypel na SWW od obszaru A, B3 — Pas na N i NW od obszaru A, B4 — izolowany obszar w rejonie wsi Okradziejówka, położony poza synkliną chrzanowską, na zrębie rozdzielającym wspomnianą synklinę od dalej na NW położonej synkliny wilkoszyńskiej. Część tych obszarów wyłączono z planów zagospodarowania, gdyż według aktualnego stanu wiedzy mineralizacja rudna albo nie spełnia tam przyjmowanych kryteriów bilansowości, albo występuje w oddaleniu od „zwarłych ciał rudnych”, albo nie tworzy płytowych ciał rudnych (mineralizacja żyłkowo-żyłowa), albo też nie odpowiada wymogom procesu wzbogacania. Ze względu na występowanie mineralizacji żyłkowo-żyłowej, nieperspektywiczny jest cały obszar B4.

Największe znaczenie gospodarcze ma mineralizacja w obrębie II horyzontu rudnego, mniejsze — w obrębie I, a najmniejsze — III. Opis ciała rudnego, a w zasadzie zwanego zespołu ciał rudnych, położonego w II horyzoncie rudnym podaje M. Szuwarzyński (1983b). Z horyzontem I związane jest w zasadzie jedno, rozczłonkowane palczasto ciało (patrz rys. 8A, opis u M. Szuwarzyńskiego 1986b). Ciała z I i II horyzontu zachodzą w planie nieco na siebie.

Położenie ciał rudnych w III horyzoncie rudnym (stan wiedzy z 1995 r.) nie było tak pewne jak ciał opisanych wyżej, gdyż zostało ono rozpoznane tylko otworami wiertniczymi. Być może jest to zespół niewielkich ciał, podobnie jak ma to miejsce na dobrze rozpoznanym (kat. A) polu rudnym związanym z III horyzontem rudnym w kopalni Matylda, na przeciwległym skrzydle niecki chrzanowskiej (Szuwarzyński 1993). W kopalni Trzebionka całe to pole rudne jest położone nad centralną częścią ciała z II horyzontu (por. rys. 8A).

## 2. Procedura badawcza i rezultaty jej zastosowania

Klasyfikację za pomocą MRO musi poprzedzać kilka etapów prac wstępnych, a wyniki klasyfikacji mogą być poddane dalszej obróbce. W rezultacie, procedura badań musi być wieloetapowa. Poniżej podano kolejne etapy procedury i uzyskane wyniki.

### 2.1. Ustalenia wstępne

Przed przystąpieniem do zasadniczych etapów procedury należy określić, czym będą obiekty klasyfikacji, klasy docelowe i obiekty dla nich wzorcowe oraz predyktory i klasy predyktorów. Ogólne definicje klasy docelowej, predyktora i klasy predyktorów podano w myśl idei J. Harffa, J.S. Davisa i R.A. Olea (1992).

Klasa docelowa może być zdefiniowana jako kategoria fizycznego obszaru w przestrzeni skalnej, którego wyodrębnienie nastąpiło w oparciu o ustalone własności. W przypadku złóż, własności te mają zwykle charakter ekonomiczny i informują o ekonomicznej przydatności określonych fragmentów złoża. Ponieważ w niniejszym przypadku informacja o klasach docelowych pochodzi z dokumentacji geologicznej otworów wiertniczych, wygodnie było przyjąć, że obiekty klasyfikacji to otwory, a klasy docelowe to zbiory otworów, przewiercających fragmenty złoża o określonej przydatności ekonomicznej. Wydzielono dwie klasy docelowe: **R** — rudną, czyli klasę otworów rudnych, tzn. nawiercających ciało lub ciała rudne (wydzielone

według kryteriów bilansowości) i N — nierudną, czyli klasę otworów płonnych, które nie przewierciły żadnego ciała rudnego.

Przy klasyfikacji nadzorowanej, wydziela się *a priori*, tzn. przed klasyfikacją obiektów, dwa zbiory wzorców klas docelowych; pełne wyodrębnienie klas docelowych następuje *a posteriori* — w wyniku klasyfikacji. Określenie zbioru wzorcowego dla klasy rudnej polegało na wytypowaniu 24 otworów wzorcowych spośród otworów bilansowych. Ze względu na to, iż kryteria bilansowości zmieniały się w czasie, istniało niebezpieczeństwo, że otwory uznane kiedyś za bilansowe, nie spełnią dzisiejszych kryteriów bilansowości. Aby zmniejszyć do minimum ryzyko, wybrano wzorce rudne spośród otworów bilansowych o wydajności Zn + Pb rzędu kilku ton/m<sup>2</sup>. Zbiór wzorcowy dla nierudnej klasy docelowej określono poprzez wybór 23 wzorców spośród otworów, które nigdy nie były zakwalifikowane jako bilansowe czy pozabilansowe.

Pre dyk tor można zdefiniować jako matematyczną reprezentację fizycznego obiektu klasyfikacji. Predyktor w niestrukturalnych metodach rozpoznania obrazów jest zdefiniowany jako wektor wartości cech, które opisują fizyczny obiekt klasyfikacji. W przypadku wykorzystywania danych otworowych, predyktor jest zdeterminowany wektorem wartości cech, zmierzonych w profilu geologicznym, uzyskanych podczas wiercenia otworu.

Klasy predyktorów w są skojarzone z odpowiednimi klasami docelowymi, tj. w naszym przypadku — z klasą rudną i nierudną, w tym sensie, że zakwalifikowanie badanego obiektu do odpowiedniej klasy predyktorów ( $R^*$  lub  $N^*$ ) wskazuje na przynależność obiektu do odpowiedniej klasy docelowej ( $R$  lub  $N$ ). Analogicznie jak w klasach docelowych, budują je *a priori* — predyktory wzorców i *a posteriori* — predyktory otworów, które zostały dołączone do odpowiednich klas predyktorów w wyniku klasyfikacji. W zależności od charakteru użytych metod klasyfikacji, przynależność predyktorów oraz fizycznych obiektów klasyfikacji (otworów) do odpowiednich klas może mieć charakter deterministyczny (np. metoda Kora-3) albo probabilistyczny (np. metoda funkcji potencjalnych).

## 2.2. Dobór cech opisujących otwory wiertnicze

Przystępując do doboru cech opisujących otwory wiertnicze uwzględniono przytoczoną we wstępie tezę, że zasięg ciał rudnych w horyzontach rudnych jest zależny głównie od litologiczno-stratygraficznych i tektonicznych cech skał goszczących rudy. Wydaje się, że teza ta winna być słuszna w skali lokalnej, tzn. przy rozpatrywaniu pojedynczych złóż. Cechy takie, jak np. typ litologiczny, szczególnie struktury i tekstury skał, spękania, kawerny, przesiąkalność, własności ekranujące — powinny wskazywać na obecność bądź nieobecność czynników sprzyjających przepływowi roztworów mineralizujących i wytrącaniu się siarczków Zn i Pb w węglanowych skałach goszczących mineralizację. Wartości cech opisujących otwory wiertnicze uzyskano poprzez selekcję informacji z dokumentacji geologicznej tych otworów. Przy doborze cech nie zrezygnowano z parametrów mierzących wprost intensywność mineralizacji, mimo że ich pomiary były obciążone wspomnianymi we wprowadzeniu błędami.

W początkowym etapie badań, każdy otwór był opisany tym samym wyjściowym zbiorem cech, obejmującym nie tylko te cechy, które uważano za ważne, np. związane z uznawaną genezą złoża, ale również te, których związek z mineralizacją wydaje się, na pierwszy rzut oka



luźny. Chodziło o to, by nie zostały pominięte, decydujące o powstaniu złoża, czynniki o charakterze lokalnym, pojawiające się w różnych, nawet sprzecznych ze sobą teoriach na temat genezy śląsko-krakowskich złóż Zn-Pb. Duża liczebność tego zbioru (386 cech) ma związek z faktem, iż uwzględnienie nawet cech niosących mało informacji nie jest szkodliwe, ponieważ podczas dalszej analizy mogą one być wskazane i wyeliminowane, natomiast pominięcie jakichś cech wysokoinformatywnych może mieć wpływ na wynik końcowy. Na podstawie powyższych założeń wytypowano wstępnie następujące nowo-obliczone parametry:

- A. procentowy stosunek miąższości warstw w obrębie DK o zawartości Zn > 2% do miąższości DK; parametr ten, zwany współczynnikiem rudoności, stosowany jest od lat w rozpoznawaniu złóż (por. np. Jarrin, Nieć 1993);
  - B. Procentowy stosunek miąższości warstw w obrębie DK z galeną rozróżnialną makroskopowo do miąższości DK; rozpatrywane wstępnie inne cechy oddające intensywność mineralizacji, np. metroprocent czy wydajności Zn i Pb, zostały odrzucone;
- oraz zbiory istniejących cech:
- C. Cechy związane z litologią i stratygrafią dolomitów kruszczośnych;
  - D. Cechy związane z litologią i stratygrafią pozostałych skał triasowych;
  - E. Cechy nie związane wprost ze stratygrafią, charakteryzujące zdolności skał otaczających dolomity kruszczośne do ekranowania przepływów roztworów mineralizujących;
  - F. Cechy opisujące bezpośrednio tektonikę dysjunktywną; cech takich niestety nie udało się zdefiniować w oparciu o dokumentację geologiczną.

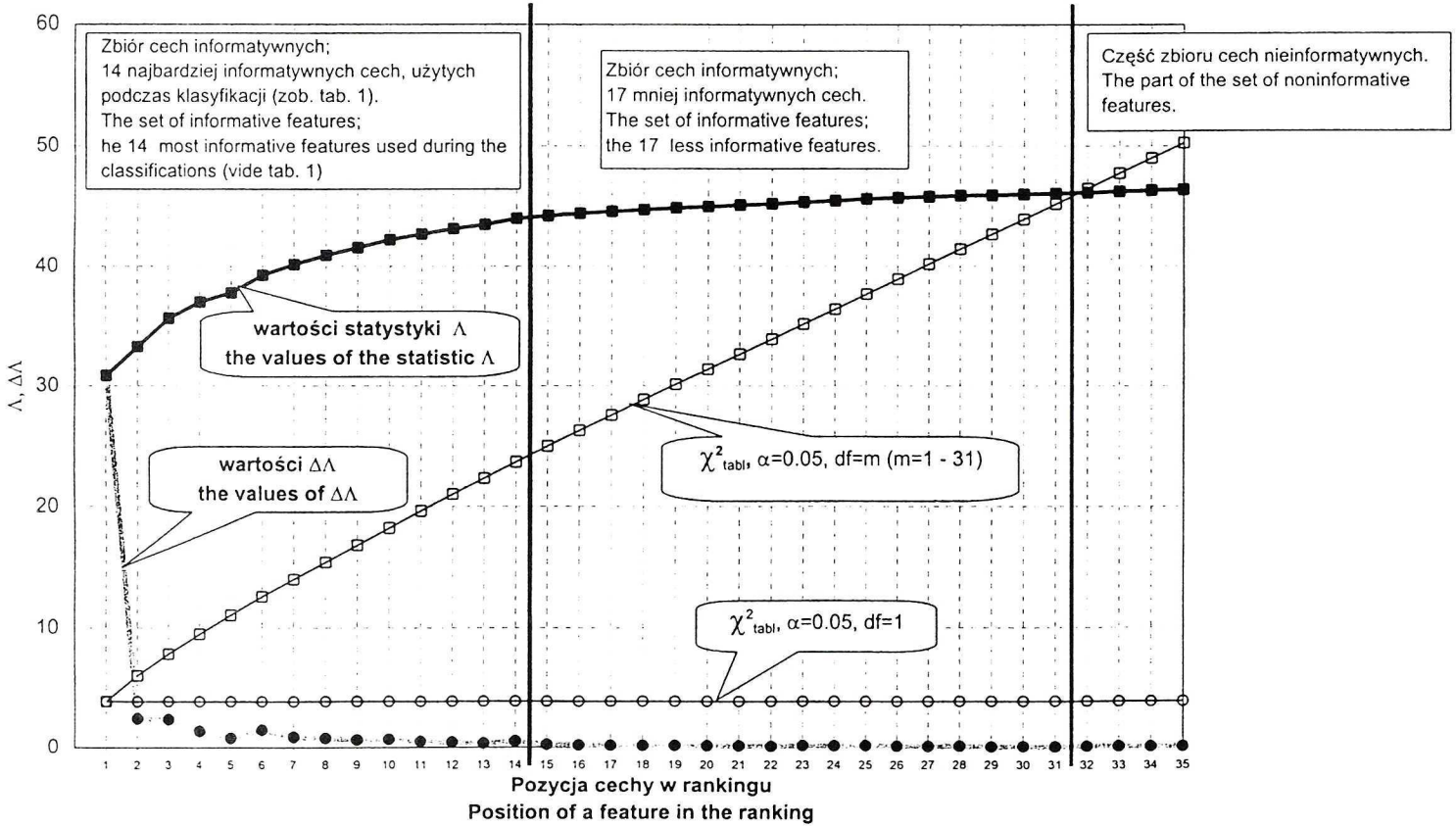
Wartości cech z punktów C, D, E, zostały zdefiniowane podobnie jak w punktach A i B, według następującego schematu. Na początku dokonywano wydzielenia tych części większego interwału profilu triasu, w których skały miały określoną właściwość, przy czym rozpatrywano osobno każdą warstwę bądź grupę warstw, opisanych jako jedna pozycja w dokumentacji geologicznej. Następnie dokonywano generalizacji w zdefiniowanym wcześniej większym interwale profilu, najczęściej pokrywającym się z ogniwem litostratygraficznym. Generalizacja polegała na obliczeniu procentowego stosunku sumarycznej miąższości skał posiadających określoną własność do miąższości szerszego interwału. Otrzymana wartość liczbowa była wartością cechy. Przez zabieg taki otrzymano zestandaryzowane wartości cech o pożądanym charakterze ilościowym. Miąższości szerszych interwałów były traktowane jako dodatkowe cechy.

Spośród wszystkich cech opisujących otwory zostanie omówiony szczegółowo tylko podzbiór cech informatywnych, otrzymany ze zbioru wyjściowego po redukcji cech niskoinformatywnych (zob. następny rozdz.).

### 2.3. Redukcja cech niskoinformatywnych

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale, oprócz pojawiającego się niekiedy niekorzystnego zjawiska niedoboru cech wysokoinformatywnych, praktycznie zawsze istnieje, łatwiejszy do wyeliminowania, nadmiar cech niosących zakłócenia — szum informatyczny. Odrzucenie tego balastu, sprowadzające się do odrzucenia cech niskoinformatywnych, umożliwia przede wszystkim polepszenie jakości klasyfikacji, ale także oszczędność czasu prac przygotowawczych i czasu obliczeń.





Rys. 3. Wykres informatywności cech (metoda Puri-Sena-Tamury)

Fig. 3. Diagram of informativity of features (Puri-Sen-Tamura method)

Redukcja informacji nieistotnej jest ściśle związana z reprezentacją wzorcową klas. W sytuacji istnienia dwóch klas, cechy są informatywne wtedy, gdy mają duże różnice międzyklasowe, przy jednoczesnym małym zróżnicowaniu wewnątrzklasowym. Do badań użyto rangowego kryterium Puri-Sena-Tamury (Puri, Sen 1971, Tamura 1966, opis w pracy Kogana, Bielewa, Rodionowa 1983) dla porównywania średnich wielowymiarowych. Ze względu na zbyt dużą liczebność wyjściowego zbioru danych, zastosowanie wprost tej metody było niemożliwe. Badania informatywności i eliminację cech przeprowadzono zatem w dwóch etapach. W pierwszym etapie zastosowano statystyczną metodę porównywania średnich jednowymiarowych (obliczanie statystyki t-Studenta). Cechę uważano za informatywną, jeśli międzyklasowe (tzn. między wzorcami dwóch badanych klas) różnice średnich wartości tej cechy były istotne na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Cechy informatywne nie podlegały redukcji i przechodziły do następnego etapu badań. Wstępną weryfikację przeszło pomyślnie 48 cech.

TABELA 1

Najbardziej informatywne cechy. W nawiasach podano wydzielenia stratygraficzno-litologiczne, dla których wartość cechy jest informatywna (DK = dolomity kruszczone)

TABLE 1

The most informative features. In brackets, there are stratigraphic and lithologic units, for which the value of feature is informative (DK = ore bearing dolomite)

Pozycja w rankingu informatywności	Cechy informatywne. Każda cecha jest zdefiniowana jako stosunek (%) dwóch liczb: licznik — sumaryczna miąższość interwałów, w których skały mają określone własności; te interwały są wewnątrz większego interwału; mianownik — miąższość wspomnianego większego interwału	Średnia /odchylenie standardowe wśród wzorców rudnych (nicrudnych)
1	zawartość Zn > 2%, mierzona za pomocą metod chemicznych (DK)	29/24 (1/6)
2	dolomity pelityczne (warstwy gogolińskie)	8/12 (4/10)
3	wapnicie krystaliczne (warstwy gogolińskie)	10/26 (26/36)
4	galena widoczna makroskopowo (DK)	11/12 (4/8)
5	zawartość Pb > 2%, mierzona za pomocą metod chemicznych (DK)	9/12 (0/0)
6	skały barwy szarej (warstwy boruszowickie)	11/24 (2/9)
7	dolomity pelityczne (warstwy tarnowickie)	47/39 (32/37)
8	galena i sfaleryt widoczne makroskopowo (DK)	8/11 (2/6)
9	ił wewnątrz szczelin (DK)	3/14 (9/11)
10	skały porowate (DK)	10/12 (17/22)
11	skały bardzo słabo związane (DK)	3/8 (10/12)
12	piaskowce związane (warstwy boruszowickie)	0/0 (3/8)
13	skały jasnożółte, brązowe, szare (warstwy tarnowickie)	35/43 (16/28)
14	skały związane (DK)	58/26 (44/33)

W drugim etapie redukcji cech niskoinformatywnych zastosowano rangowe kryterium Puri-Sena-Tamury. Metoda ta uwzględnia informatywność splotów cech. Miarą informatywności w metodzie Puri-Sena-Tamury jest statystyka, posiadająca rozkład  $\chi^2$ . Bliższy opis metody zawarty jest w pracy J. Kotlarczyka i in. (1999).

W efekcie znaleziono pełną kombinację 31 cech informatywnych (PKI), tzn. cech wchodzących w kombinację, dla których wartość statystyki była istotna. Teoretycznie, podczas klasyfikacji można użyć całego zbioru PKI, jednak, aby zmniejszyć pracochłonność, w niniejszym przypadku użyto tylko 14 cech (rys. 3 i tab. 1), które dały największe (choć niekoniecznie istotne) przyrosty statystyki.

Wewnątrz zbioru PKI istnieje tylko jedna cecha (pierwsza w rankingu), która dała istotny na poziomie 0,05 przyrost statystyki. Tworzy ona jednoelementowy zbiór: „najlepszą kombinację cech informatywnych”, tzw. jądro informatywne.

Bez trudu poddaje się interpretacji obecność wśród cech informatywnych takich parametrów, które opisują wprost natężenie mineralizacji (tab. 1, cechy 1, 4, 5, 8), natomiast nie są oczywiste związki między pozostałymi najbardziej informatywnymi cechami a genezą złoża.

#### 2.4. Klasyfikacja za pomocą wybranych metod rozpoznawania obrazów

Klasyfikacji dokonano za pomocą dwóch sprawdzonych wcześniej (Kotlarczyk i in. 1988, 1991; Kotlarczyk, Mastej 1994, 1996; Mastej 1998) metod rozpoznawania obrazów: metody funkcji potencjalnej (Ajzerman i in. 1976; skrótowo FP) i metody Kora-3 (Bongard i in. 1966). Użycie dwóch metod pozwalało na bardziej wiarygodną prognozę zasięgów ciał rudnych na obszarach, które dwie różne metody typują zgodnie do tej samej klasy.

Użyte do rozpoznawania cechy miały charakter ilościowy, a ponieważ metoda FP wykorzystuje właśnie takie cechy, można ją było zastosować bezpośrednio. Algorytm Kora-3 natomiast wymaga tylko danych dyskretnych, zatem dane pierwotne musiały być wcześniej zdyskretyzowane. Dyskretyzacja polega na podziale zakresu zmienności cechy na przedziały i przypisaniu tym przedziałom odpowiednich kodów, np. kolejnych liczb naturalnych. Podczas dyskretyzacji powstaje pewien błąd związany ze stratą informacji. Błąd ten nie powinien przekroczyć zadanej *a priori* niskiej wartości granicznej, gdyż byłoby to przyzwoleniem na zbyt dużą utratę informacji. Przyjęcie jednak zbyt małej wartości granicznej błędu kwantyzacji wymusza zbyt dużą liczbę przedziałów, co mija się z ideą dyskretyzacji. Istnieje zatem optymalna wartość graniczna, którą określono doświadczalnie na 0,15. Przedziały dobierano więc w ten sposób, aby błąd kwantyzacji był optymalny.

Rezultatem klasyfikacji za pomocą FP jest prawdopodobieństwo przynależności predyktorów otworów do klasy predyktorów rudnych i nierudnych, a w przypadku Kory-3 są tzw. głosy (ilości wskazań) za klasą predyktorów rudnych i głosy za klasą predyktorów nierudnych.

Po zastosowaniu MRO oceniono jakość i błędy klasyfikacji. Jako miarę jakości klasyfikacji uznano — za J. Kotlarczykiem i in. (1999) — prawdopodobieństwa warunkowe  $P(\mathbf{R}|\mathbf{R}^*)$  i  $P(\mathbf{N}|\mathbf{N}^*)$ , natomiast jako miarę błędów klasyfikacji —  $P(\mathbf{R}|\mathbf{N}^*)$  i  $P(\mathbf{N}|\mathbf{R}^*)$ . Jakość i błędy klasyfikacji nieznanymi obiektami ocenia się poprzez próbną, deterministyczną klasyfikację obiektów o znanej przynależności klasowej. Podczas próbnej klasyfikacji, jedna część obiektów



TABELA 2

Prawdopodobieństwa warunkowe ocenione metodą Tussainta w próbnej klasyfikacji

TABLE 2

Conditional probabilities estimated by means of Tussaint's method during test classification

	Metoda funkcji potencjalnej	Metoda Kora-3
$P(\mathbf{R} \mathbf{R}^*)$	0,92	0,98
$P(\mathbf{N} \mathbf{R}^*)$	0,08	0,02
$P(\mathbf{R} \mathbf{N}^*)$	0,13	0,05
$P(\mathbf{N} \mathbf{N}^*)$	0,87	0,95

$\mathbf{R}, \mathbf{N}$  — klasy docelowe rudna i nierudna;  $\mathbf{R}^*, \mathbf{N}^*$  — klasy predyktorów rudnych i nierudnych.

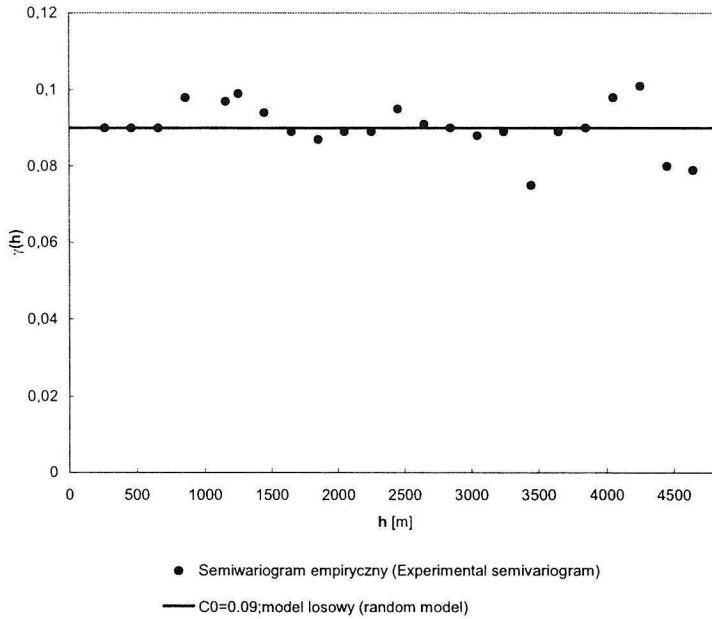
o znanej przynależności klasowej symuluje wzorce, a druga część — obiekty badane. Z kilku sposobów obliczania tych wielkości wybrano metodę Tussainta (Sobczak, Malina 1985). Duże wartości  $P(\mathbf{R}|\mathbf{R}^*)$  i  $P(\mathbf{N}|\mathbf{N}^*)$  i małe:  $P(\mathbf{R}|\mathbf{N}^*)$  i  $P(\mathbf{N}|\mathbf{R}^*)$  dla obydwu użytych metod sugerują, że otwory zostały sklasyfikowane prawidłowo (tab. 2).

## 2.5. Interpolacja wyników klasyfikacji

W wyniku klasyfikacji otrzymuje się dla każdego obiektu wartość miary oddającej siłę jego związku z klasą predyktorów rudnych i płonnych. Dla FP jest to prawdopodobieństwo  $P(\mathbf{R}^*)$  przynależności predyktora klasyfikowanego obiektu do klasy  $\mathbf{R}^*$  oraz prawdopodobieństwo  $P(\mathbf{N}^*) = 1 - P(\mathbf{R}^*)$ , dla metody Kora-3 — znormalizowane ilości głosów za klasą rudną i za klasą płonną. Normalizacja tych dwóch parametrów jest wymogiem metody geostatystycznej (Journel, Huijbregts 1978). Wartości prawdopodobieństwa (FP) lub wyniki głosowań (Kora-3), obliczone dla poszczególnych otworów mogą być traktowane jako realizacje zregionalizowanej zmiennej losowej. Za pomocą metody geostatystycznej wartości te można interpolować w węzłach regularnej siatki. Pozwala to określić wartość wybranej miary w miejscach, gdzie nie odwiercono otworów wiertniczych.

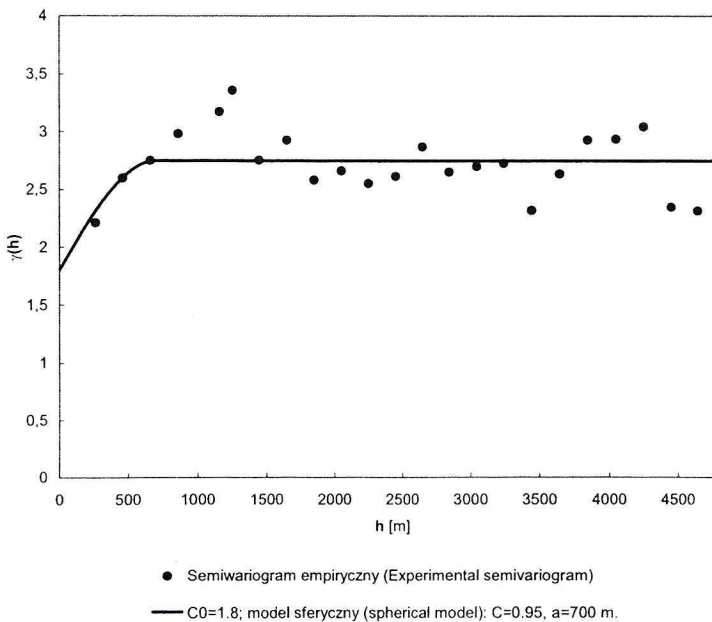
W pierwszej kolejności buduje się model zmienności geostatystycznej na wszystkich obiektach. Polega to na skonstruowaniu semiwariogramów i dobraniu odpowiednich modeli zmienności. Semiwariogramy przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6. Modele zmienności w analizowanym przykładzie charakteryzują się dużą zmiennością lokalną (duży efekt samorodków  $C_0$  w porównaniu z progim C), co wynika ze zbyt rzadkiej siatki wierceń w stosunku do zmienności interpolowanych parametrów. W żadnym z uzyskanych zbiorów wartości przynależności obiektów do odpowiedniej klasy nie wykryto anizotropii.

W następnym kroku dokonano interpolacji z użyciem metody krigingu, który pozwala na minimalizację błędów interpolacji i oceniono wielkość tych błędów. Ze względu na losowy model dla  $P(\mathbf{R}^*)$ , obliczonego metodą FP (rys. 4), nie było możliwości interpolowania tego parametru.



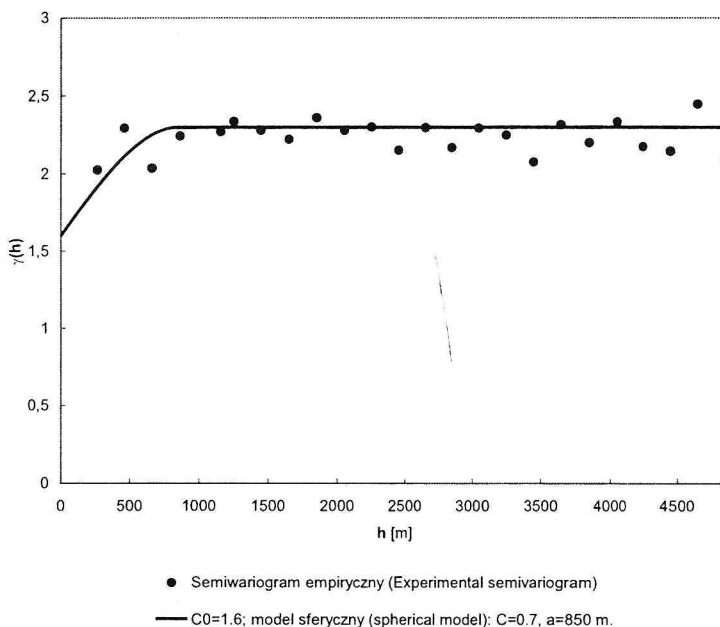
Rys. 4. Metoda funkcji potencjalnej. Semiwariogram prawdopodobieństwa przynależności otworu do klasy rudnej  $R^*$

Fig. 4. Potential function method. Semivariogram of probability of a borehole membership to the ore class  $R^*$



Rys. 5. Metoda Kora-3. Semiwariogram głosów za klasą rudną  $R^*$

Fig. 5. Kora-3 method. Semivariogram of votes for the ore class  $R^*$



Rys. 6. Metoda Kora-3. Semiwariogram głosów za klasą płoną N\*

Fig. 6. Kora-3 method. Semivariogram of votes for the barren class N\*

Możliwość taka zaistniała jednak dla znormalizowanych ilości głosów za klasą rudną i za klasą płoną (Kora-3, rys. 5 i 6). Ponieważ w charakterze zmienności tych parametrów nie wykryto trendów, zastosowano kriging zwykły blokowy. Za miarę błędów interpolacji przyjmuje się krigingowe odchylenia standardowe (ang. KSD). W strefach rozwierconych gęsto KSD jest rzędu 0,25 (w przypadku prawdopodobieństwa obliczonego metodą FP) bądź 0,90 (w przypadku znormalizowanych liczb głosów za klasą rudną lub za klasą płoną obliczonych metodą Kora-3), natomiast poza takimi strefami — KSD wzrasta.

W efekcie obliczeń otrzymano siatki interpolacyjne (ze względu na oszczędność miejsca nie wykonano map izoliniowych) zadanych miar wraz z odpowiadającymi im siatkami KSD.

## 2.6. Mapy prognostyczne

Opisane wyżej siatki interpolacyjne wyników klasyfikacji algorytmem Kora-3 były podstawą do wykonania izoliniowej mapy prognostycznej, czyli mapy prawdopodobieństwa  $P(R)$  przynależności dowolnego punktu obszaru do docelowej klasy rudnej. Jest to prawdopodobieństwo, że odwiercony otwór przebijie jakieś ciało rudne.

W przypadku Kory-3, przed przystąpieniem do zasadniczego etapu obliczeń, konieczne było jednak obliczenie prawdopodobieństwa  $P(R^*)$  według metody zaproponowanej dla innej miary przynależności do klasy (odległości Mahalanobisa) przez J. Harffa i in. (1992). Obliczeń dokonano na regularnych siatkach interpolacyjnych. Każdy węzeł takiej siatki interpolacyjnej



opisany był za pomocą czterech liczb: estymaty krigingowej znormalizowanej ilości głosów za klasą rudą ( $G_R$ ) i krigingowego odchylenia standardowego KSD tego parametru ( $\sigma_R$ ) oraz estymaty krigingowej znormalizowanej ilości głosów za klasą płonną ( $G_N$ ) i KSD tego parametru ( $\sigma_N$ ).  $P(\mathbf{R}^*)$  można było obliczyć przy założeniu, że błąd interpolacji ma rozkład normalny. Szukane prawdopodobieństwo  $P(\mathbf{R}^*)$  to wartość dystrybuanty standaryzowanego rozkładu normalnego  $N(0,1)$  dla wartości  $(G_R - G_N)/(\sigma_R + \sigma_N)$ . Wyniki numerycznych obliczeń zapisano w formie siatki interpolacyjnej. Warto w tym miejscu przypomnieć, iż rezultatem klasyfikacji za pomocą drugiej użytej metody — FP, było wprost prawdopodobieństwo przynależności predyktora każdego otworu do rudnej klasy predyktorów  $P(\mathbf{R}^*)$ .

Znając  $P(\mathbf{R}^*)$  dla każdego węzła siatki interpolacyjnej oraz mając oszacowaną jakość i błąd klasyfikacji (prawdopodobieństwa warunkowe zdefiniowane w rozdz. 2.4) można, korzystając ze wzoru na prawdopodobieństwo całkowite, łatwo obliczyć prawdopodobieństwo  $P(\mathbf{R})$ :

$$P(\mathbf{R}) = P(\mathbf{R}^*) P(\mathbf{R}|\mathbf{R}^*) + P(\mathbf{N}^*) P(\mathbf{R}|\mathbf{N}^*) \quad (1)$$

Uwzględniając, że  $P(\mathbf{N}^*) = 1 - P(\mathbf{R}^*)$ , wzór (1), można przekształcić:

$$P(\mathbf{R}) = P(\mathbf{R}^*) P(\mathbf{R}|\mathbf{R}^*) + [1 - P(\mathbf{R}^*)] P(\mathbf{R}|\mathbf{N}^*) \quad (2)$$

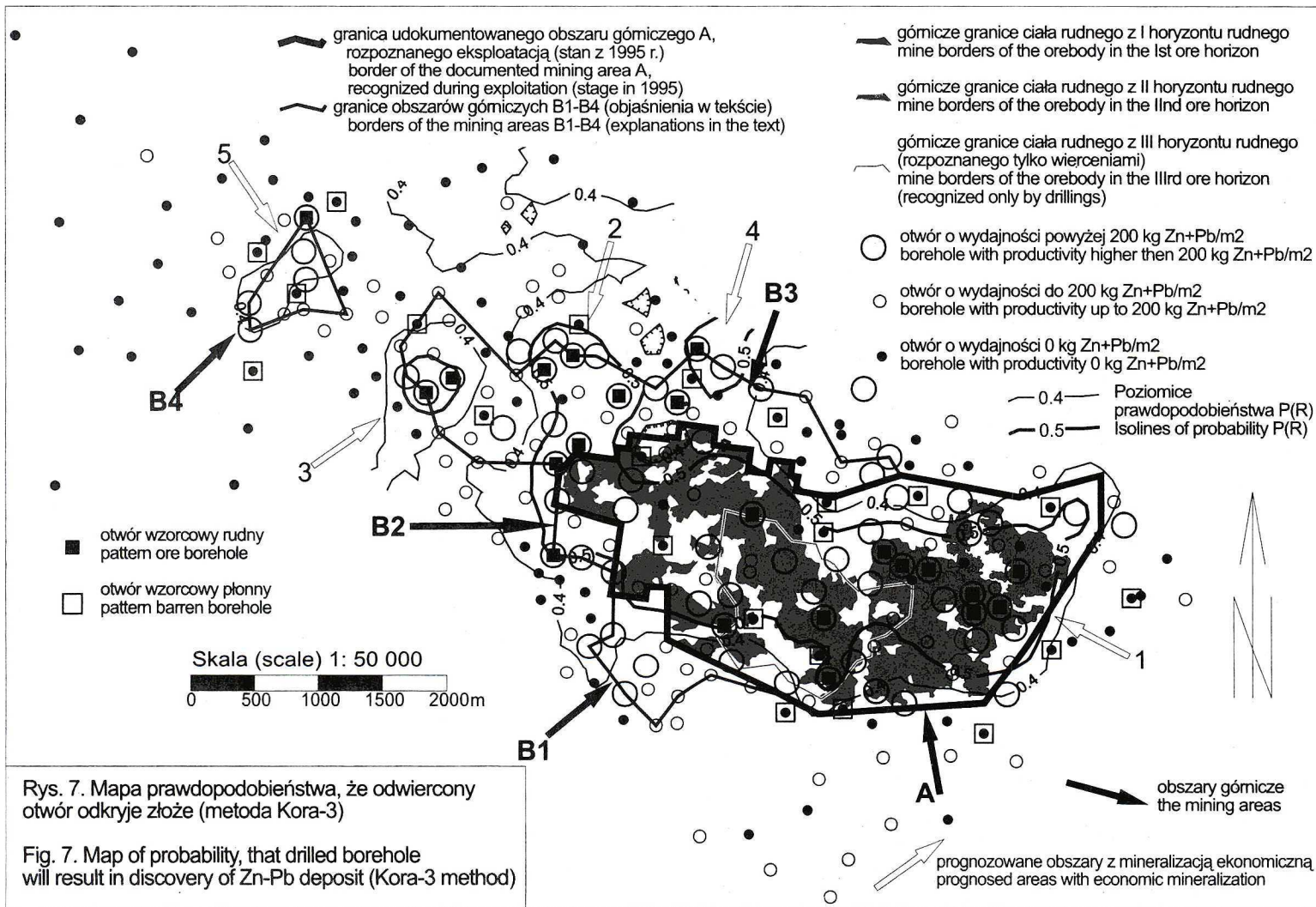
W efekcie została wykonana izoliniowa prognostyczna mapa prawdopodobieństwa  $P(\mathbf{R})$  dla metody Kora-3 (rys. 7). Na mapie tej przedstawiono dodatkowo otwory wzorcowe rudne i płonne, a także wydajność otworów w 3 klasach: 0, do 200 i powyżej 200 kg Zn + Pb/m<sup>2</sup>.

Ponieważ nie można było narysować podobnej mapy izoliniowej w odniesieniu do FP (losowy semiwariogram), wyniki rozpoznawania pozostały w formie dyskretnej. Otwór uważano za rudny (tzn. należący do klasy docelowej rudnej  $\mathbf{R}$ ), gdy  $P(\mathbf{R}^*) > 0,55$ ; za płonny (tzn. należący do klasy docelowej płonnej  $\mathbf{N}$ ), gdy  $P(\mathbf{R}^*) < 0,45$ ; za niesklasyfikowany, gdy  $P(\mathbf{R}^*)$  należało do przedziału domkniętego  $[0,45—0,55]$ .

Stosowanie tutaj prawdopodobieństwa  $P(\mathbf{R})$  przynależności obiektu do klasy docelowej nie było konieczne, gdyż przy przyjęciu przedziału  $P(\mathbf{R}^*)$ , odpowiadającemu wspomnianej niemożności klasyfikacji, wyniki klasyfikacji dyskretnej otworów do klas docelowych ( $\mathbf{R}$  i  $\mathbf{N}$ ) pokrywały się z wynikami klasyfikacji dyskretnej predyktorów tych otworów do odpowiednich klas predyktorów ( $\mathbf{R}^*$  i  $\mathbf{N}^*$ ).

Dla pełnego porównania uzyskanych wyników, wykonano dodatkową, analogiczną klasyfikację metodą Kora-3. W tym przypadku otwór uważano za rudny, gdy  $G_R > G_N$ ; za płonny, gdy  $G_R < G_N$ ; za niesklasyfikowany, gdy  $G_R = G_N$ , gdzie:  $G_R$  — liczba głosów za klasą predyktorów rudnych;  $G_N$  — liczba głosów za klasą predyktorów płonnych.

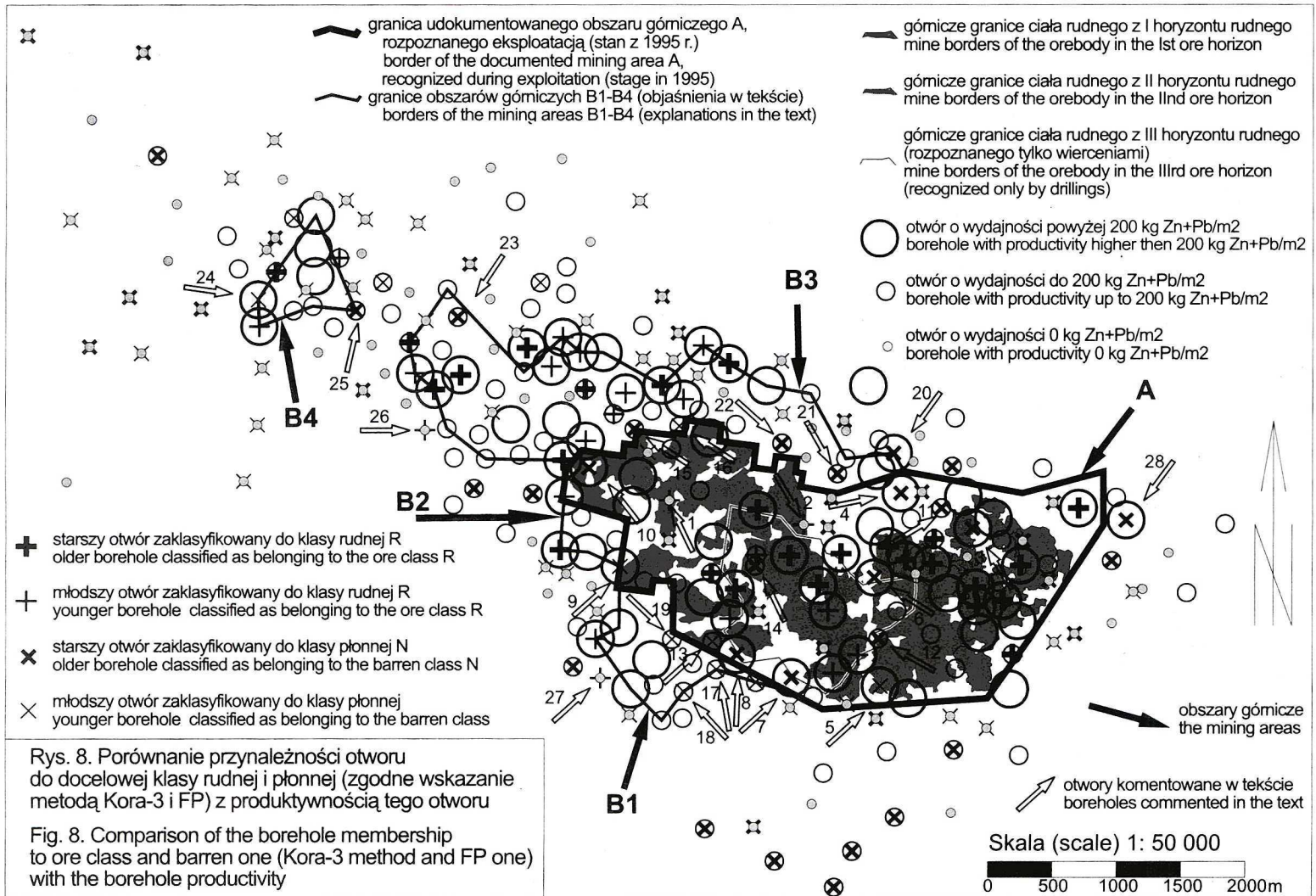
Wyniki obydwu klasyfikacji dyskretnych przedstawiono zbiorczo na mapach, jako zgodne wskazania otworów rudnych (rys. 8 i 8A). Zgodność wskazań podwyższa wiarygodność prognozy; wadą tego podejścia są częste przypadki wystąpienia niezgodności wskazań, co prowadzi do ujawnienia się kolejnej kategorii niesklasyfikowanych otworów. Klasyfikację dyskretną przedstawiono za pomocą odpowiednich symboli. Podobnie jak w przypadku mapy izoliniowej (zob. rys. 7), na mapie tej znalazły się również granice ciał rudnych i wydajność otworów.



Rys. 7. Mapa prawdopodobieństwa, że odwiercony otwór odkryje złożę (metoda Kora-3)

Fig. 7. Map of probability, that drilled borehole will result in discovery of Zn-Pb deposit (Kora-3 method)

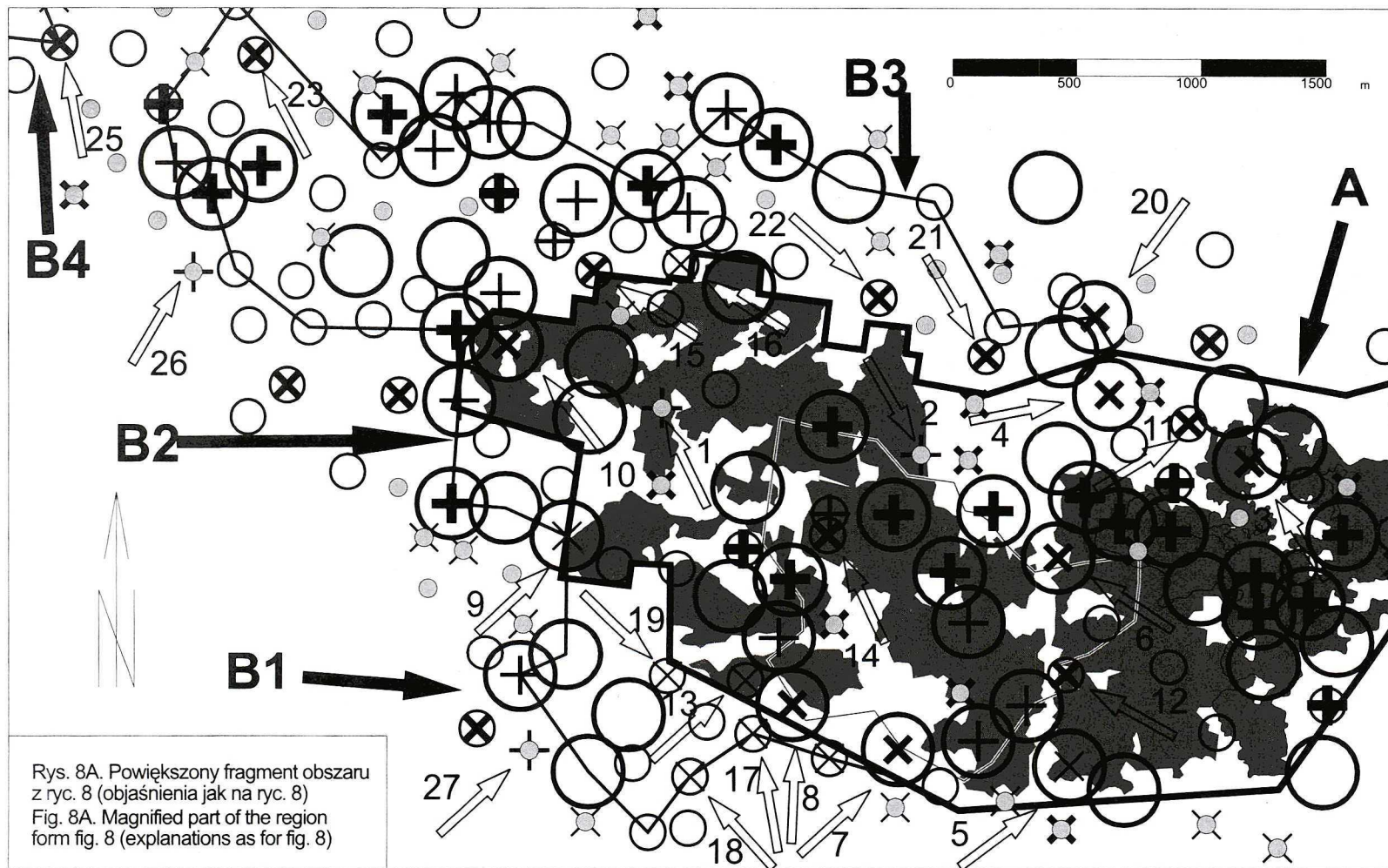




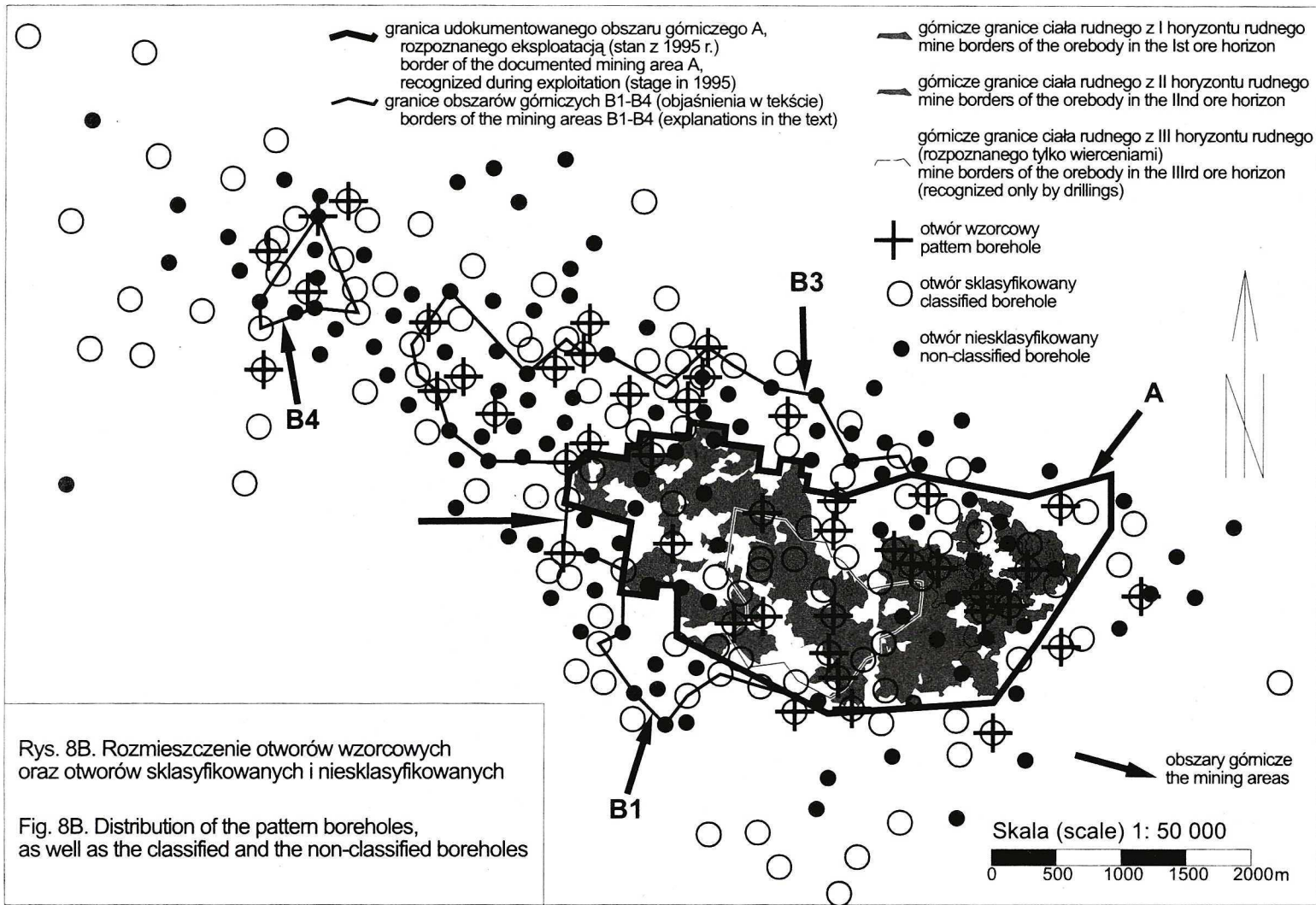
Rys. 8. Porównanie przynależności otworu do docelowej klasy rudnej i płonnej (zgodnie wskazanie metodą Kora-3 i FP) z produktywnością tego otworu

Fig. 8. Comparison of the borehole membership to ore class and barren one (Kora-3 method and FP one) with the borehole productivity





Rys. 8A. Powiększony fragment obszaru z ryc. 8 (objaśnienia jak na ryc. 8)  
 Fig. 8A. Magnified part of the region from fig. 8 (explanations as for fig. 8)



Rys. 8B. Rozmieszczenie otworów wzorcowych oraz otworów sklasyfikowanych i niesklasyfikowanych

Fig. 8B. Distribution of the pattern boreholes, as well as the classified and the non-classified boreholes



### 3. Wyniki badań i ich interpretacja

Przed przystąpieniem do szczegółowej interpretacji należy wyjaśnić, jakie informacje zostaną jej poddane. Są to:

1. Prognozy uzyskane za pomocą MRO: powierzchniowa (rys. 7) i dyskretna (rys. 8 i 8A); prognozy te wskazują na istnienie klasy ciał rudnych **R**, bądź klasy stref płonnych **N**.

2. Uzyskany w trakcie eksploatacji obraz (układ) powierzchniowego rozmieszczenia ciał rudnych (GCR), traktowanych jako strefy o znaczeniu ekonomicznym, oraz stref płonnych, nieekonomicznych (NGCR) w obszarze A. Na obszarze tym była możliwość pełnej weryfikacji uzyskanych rezultatów.

3. Aktualne informacje Służby Geologicznej, pochodzące z rozpoznania górniczego, o perspektywiczności wybranych otworów w obszarach B1-B3 (dyskretna informacja o GCR i NGCR w punktach, gdzie odwiercono te otwory).

4. Informacja Służby Geologicznej o nieperspektywiczności (NGCR) otworów z obszaru B4 (obecność nieekonomicznej mineralizacji żyłkowo-żyłowej) oraz nieperspektywiczności otworów poza obszarami rozpoznanymi górniczo, z powodu ich oddalenia od skupiska płytowych ciał rudnych. Na obszarach tych była wprawdzie teoretyczna możliwość pełnej, tzn. powierzchniowej weryfikacji uzyskanych rezultatów, jednak należy przypomnieć, że nie było tu rozpoznania wyrobiskami górniczymi, a w kilku miejscach znajdują się otwory bilansowe o dużej wydajności, wskazujące na duże, choć nieekonomiczne nagromadzenia kruszców. Fakty te sugerują, że w wielu przypadkach nie można uznać jednoznacznie za błędne takich wyników prognozy, które wskazują w tych obszarach istnienie ciał rudnych typu GCR.

5. Wykaz otworów pozytywnych, tj. bilansowych i pozabilansowych (otwory z niezerową wydajnością), oraz wykaz otworów negatywnych, dla których przyjęto zerową wydajność. Otwory pierwszego typu definiują klasę ciał rudnych, rozumianych tradycyjnie, w sensie standardów dokumentacyjnych (w dalszym tekście będzie używany skrótowiec CR), natomiast otwory drugiego typu definiują klasę stref nierudnych w sensie tradycyjnym (dalej oznaczaną skrótowo NCR). Wygodnym parametrem, charakteryzującym bardziej szczegółowo przynależność do klas CR i NCR, będzie wydajność otworów. Parametr ten, obliczany w oparciu o chemiczne oznaczenia zawartości Zn i Pb, jest podstawą standardowej prognozy rudnej (metoda uzyskiwania takiej prognozy będzie dalej nazywana metodą standardową).

W tym miejscu należy się wyjaśnienie, skąd się biorą różnice między rozkładem ciał rudnych CR i GCR oraz stref płonnych NCR i NGCR. Jak już wspomniano, poza zwartym rejonem występowania płytowych ciał rudnych (GCR) mogły się znaleźć małe, nieekonomiczne strefy rudne (CR), często z mineralizacją żyłkowo-żyłową. Z kolei, wewnątrz GCR mogły się znaleźć małe strefy nierudne NCR, których nie opłacało się omijać podczas eksploatacji.

Przystępując do interpretacji wyników trzeba zasygnalizować, że klasyfikacja za pomocą MRO wykazuje przede wszystkim rejon o podobnych warunkach złożowych (zapisanych w wartościach cech litologiczno-stratygraficznych), jak w rudnych obszarach wzorcowych. Jeżeli zaś da się udowodnić postulowana wcześniej korelacja między tymi warunkami a czynnikami rządzącymi rozmieszczeniem ekonomicznej mineralizacji, można pośrednio prognozować potencjalne wystąpienia takiej mineralizacji. Podczas klasyfikacji, używając wzorców pobranych z klas CR i NCR, wskazano strefy **R** i **N** (bądź otwory należące do klas **R** lub **N**)



i zweryfikowano je (powierzchniowo lub punktowo) z układem odniesienia, który stanowiły strefy odpowiednio GCR i NGCR. Pozytywna weryfikacja wskazań MRO będzie jednocześnie dowodem prawdziwości powyższego postulatu, a wszystkie ujawnione przypadki zgodności wskazań MRO z układem odniesienia można uznać za sukces.

### 3.1. Interpretacja izoliniowej mapy prawdopodobieństwa, że odwiercony otwór odkryje złożę (rozpoznanie za pomocą algorytmu Kora-3)

Rozpoznano następujące maksima  $P(\mathbf{R})$  — obszary prognostyczne (rys. 7; maksima wskazano ponumerowanymi strzałkami):

1. Maksimum ograniczone w przybliżeniu izolinią 0,5, pokrywające się w dużym stopniu z mającą ekonomiczne znaczenie częścią obszaru A (GCR) oraz obszarem B2; w obrębie granic obszaru górniczego A, przy jego N i S granicy znalazły się wąskie pasy rozpoznane z prawdopodobieństwem poniżej 0,4; w przypadku pasa N, górnicze rozpoznanie również nie wykryło ciał rudnych (GCR), natomiast w pasie S znalazły się niewielkie ich strzępy.

Trzy następne maksima (2, 3, 4) na obszarze górniczym B3 nie mogły być zestawione z rozmieszczeniem GCR i NGCR, ponieważ nie dysponowano tu pełną informacją o tym układzie; wrywkowe dane punktowe o GCR i NGCR z tego obszaru (zob. dalej rozdz. 3.2) znalazły się poza maksimami.

2. Przylegające do obszaru A od NW małe maksimum, ograniczone izolinią 0,5 (W część obszaru B3); poza jednym wyjątkiem, wewnątrz maksimum występują tylko otwory pozytywne.

3. Izolowane maksimum na NW, ograniczone izolinią 0,5 (W część obszaru B3); wewnątrz maksimum występują wyłącznie otwory pozytywne.

4. Izolowane maksimum na N, ograniczone izolinią 0,5 (centralna część obszaru B3); wewnątrz maksimum występują wyłącznie otwory pozytywne.

5. Izolowane maksimum w rejonie B4 (wieś Okradziejówka), ograniczone izolinią 0,4; cały rejon Okradziejówki został jednak wyłączony z planów zagospodarowania złoża, ze względu na nieekonomiczny, żyłkowo-żyłowy charakter mineralizacji (zob. p. 4 w rozdz. 3.).

Jednocześnie obszar B1 i część E pasa B3 znalazły się w obszarze z prawdopodobieństwem mniejszym niż 0,4, mimo iż znajdują się tam otwory pozytywne o wydajnościach do 200 kg/m<sup>2</sup>, niekiedy ponad 200 kg/m<sup>2</sup>.

Komentując uzyskane wyniki można stwierdzić, że prognoza uzyskana za pomocą MRO na obszarze A jest w znacznej mierze potwierdzona górniczo. Ze względu na rzadką siatkę otworów wiertniczych, przebieg izolunii 0,5 (uznanej za graniczną dla wydzielonych maksimów) jest łagodny i mimo że dobrze oddaje zasięg zwartego zespołu płytowych ciał rudnych (GCR), to obcina najbardziej zewnętrzne ich fragmenty. W ogóle można odnieść wrażenie, że Kora-3 rozpoznała strefy rudne z pewnym niedomiarem powierzchni. Trzy kolejne maksima  $P(\mathbf{R})$  (2, 3 i 4), lokują się na obszarze B3. Mimo niemożności ich weryfikacji (brak danych o GCR i NGCR), można zaobserwować tu prawie całkowitą korelację wskazań MRO (klasa  $\mathbf{R}$ ) z pojawianiem się otworów bilansowych (CR). Widać też, że maksima te utworzyły się wokół jednego lub więcej otworów wzorcowych rudnych i zostały rozszerzone

o kilka otworów niewzorcowych. W rejonie Okradziejówki (obszar B4) zarówno MRO, jak i metoda standardowa wykazują istnienie ciała rudnego, niestety bez znaczenia ekonomicznego (NGCR, zob. p. 4 w rozdz. 3.).

### 3.2. Interpretacja wyników klasyfikacji dyskretnej, uzyskanych za pomocą metody funkcji potencjalnych i Kory-3

Na mapach (rys. 8 i 8A) pokazano jako perspektywiczne (rudne) bądź płonne tylko te otwory, które są zgodnie klasyfikowane przez obydwie użyte metody rozpoznawania obrazów. Dzięki temu prognoza miała znacznie wyższą wiarygodność niż w przypadku użycia tylko jednej metody. Wymóg ten spowodował jednak wygenerowanie wielu przypadków niezaklasyfikowania otworów. Wiązało się to bądź z odmową klasyfikacji przez jedną z MRO (taka sama liczba głosów za klasą rudną, jak za klasą nierudną w przypadku Kory-3 albo prawdopodobieństwo bliskie 0,5:0,45—0,55 w przypadku FP), bądź też z brakiem zgodności w klasyfikacji (np. wskazanie klasy rudnej przez Korę-3, a nierudnej przez FP).

#### 3.2.1. Porównanie klasyfikacji metodami rozpoznawania obrazów z prognozą rudną uzyskaną metodą standardową (bilansowość i wydajność otworów)

Podstawą niniejszych rozważań będzie tabelaryczne zestawienie (tab. 3) otrzymanych wyników zgodnej klasyfikacji objema MRO (zgodne przypadki klasyfikacji metodą FP i Korę-3) z bilansowością i wydajnością otworów. Zestawienie to (w liczbach i procentach) wykonano w rozbiciu na otwory młodsze (odwiercone w latach siedemdziesiątych) i starsze (odwiercone w latach pięćdziesiątych). W tabeli nie uwzględniono 9 otworów zboczonych, dublujących inne otwory.

**Porównanie wyników zgodnej klasyfikacji objema MRO z bilansowością otworów**  
Znacząca część otworów nie została sklasyfikowana przez MRO. Wśród otworów nowych jest takich przypadków 40 (37%), w tym: 18 (17%) otworów negatywnych oraz 22 otwory pozytywne, tj. bilansowe lub pozabilansowe (20%). Wśród otworów starszych niesklasyfikowano 68 otworów (50%), w tym: 18 otworów negatywnych (12%) oraz 60 otworów pozytywnych (38%). Wśród wszystkich otworów niesklasyfikowano 118 otworów (44%), w tym: 36 otworów negatywnych (14%) oraz 82 otwory pozytywne (31%).

Szarym kolorem zaznaczono w tabeli 3 zgodne wskazania obydwu użytych MRO i metody standardowej. Wśród otworów nowych jest tych wskazań 52 (48%), w tym: 18 otworów pozytywnych, należących do klasy **R** (17%) oraz 34 otwory negatywne, należące do klasy **N** (31%). Wśród otworów starszych zgodnych wskazań jest 50 (32%), w tym: 26 otworów pozytywnych, należących do klasy **R** (17%) oraz 24 otwory negatywne, należące do klasy **N** (15%).

Łącznie wśród wszystkich otworów zgodnych wskazań jest 102 (39%), w tym: 44 otwory pozytywne, należące do klasy **R** (17%) oraz 58 otwory negatywne, należące do klasy **N** (22%). Należy pamiętać, że zgodność wskazań oznacza, że proponowane metody i metoda standardowa mogą wskazywać trafnie (sytuacja najczęstsza), ale też wspólnie chybiać.

TABELA 3

Zestawienie zgodnej klasyfikacji MRO (metody: FP i Kora-3) z wydajnością otworów

TABLE 3

Comparison of the convergent pattern recognition classification (Kora-3 and potential function method) with borehole productivity

<b>Otwory nowe</b>						
Wydajność	Wskazania MRO					
	R		N		nkl	
0 kg Zn + Pb	4	4%	34	31%	18	17%
> 0 kg Zn + Pb	18	17%	12	11%	22	20%
<200 kg Zn + Pb	3	3%	9	8%	15	14%
> 200 kg Zn + Pb	15	14%	3	3%	7	6%
						108

<b>Otwory stare</b>						
Wydajność	Wskazania MRO					
	R		N		nkl	
0 kg Zn + Pb	0	0%	24	15%	18	12%
> 0 kg Zn + Pb	26	17%	28	18%	60	38%
<200 kg Zn + Pb	6	4%	20	13%	41	26%
> 200 kg Zn + Pb	20	13%	8	5%	19	12%
						156

<b>Wszystkie otwory</b>						
Wydajność	Wskazania MRO					
	R		N		nkl	
0 kg Zn + Pb	4	2%	58	22%	36	14%
> 0 kg Zn + Pb	44	17%	40	15%	82	31%
<200 kg Zn + Pb	9	3%	29	11%	56	21%
> 200 kg Zn + Pb	35	13%	11	4%	26	10%
						264

W rubrykach podano zestawienia liczbowe i procentowe otworów.

R — otwory rudne, N — otwory nierudne, nkl — otwory niesklasyfikowane, rubryki zacienione — przypadki niezgodności między prognozą standardową a prognozą MRO.



Podobne zestawienie można wykonać dla niezgodnych wskazań obydwu użytych MRO i metody standardowej. Wśród otworów nowych jest tych wskazań: 16 (15%), w tym: 4 otwory negatywne, należące do klasy **R** (4%) oraz 12 otworów pozytywnych, należących do klasy **N** (11%). Wśród otworów starszych niezgodnych wskazań jest 28 (18%), w tym: 0 otworów negatywnych, należących do klasy **R** (0%) oraz 28 otworów pozytywnych, należących do klasy **N** (18%).

Łącznie wśród wszystkich otworów niezgodnych wskazań jest 44 (17%), w tym: 4 otwory negatywne, należące do klasy **R** (2%) oraz 40 otworów pozytywnych, należących do klasy **N** (15%).

Wykazane tu 44 przypadki przeciwstawnych wskazań zostaną dokładnie przeanalizowane w rozdziale 3.2.2.

### **Porównanie wyników zgodnej klasyfikacji obiem MRO z wydajnością otworów**

Podczas tego porównania otwory pozytywne rozbito na otwory o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup>, i otwory powyżej tego progu. Okazało się (po wyeliminowaniu przypadków odmowy klasyfikacji), że otwory wskazane przez MRO jako rudne mają wyższą wydajność, niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z otworami nowymi czy starymi. Inaczej jest w przypadku otworów wskazanych przez MRO jako nierudne — procent zbieżności wskazań MRO i wydajności jest wyraźnie większy w przypadku otworów nowych. Jednocześnie znacznie spada tu procent przypadków z odmową klasyfikacji. Po dokładnej analizie tych wyników można dojść do wniosku, że odwiercone w latach pięćdziesiątych otwory pozytywne o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup>, co do których nastąpiła odmowa klasyfikacji (41 otworów, 26%), to najprawdopodobniej otwory uznane przez dokumentatorów błędnie jako pozytywne, a w rzeczywistości — otwory negatywne, których wydajność została sztucznie zawyżona.

#### 3.2.2. Weryfikacja sposobem górniczym niezgodności między wskazaniami metod rozpoznawania obrazów i metody standardowej

Wiele przypadków zgodnych wskazań MRO, pozytywnie zweryfikowanych sposobem górniczym nie wnosi nowych informacji, a tylko potwierdza wskazania z użyciem metody standardowej. Są to sytuacje, gdzie obszar lub otwór należy jednocześnie do klas **R**, **CR** i **GCR** lub do klas **N**, **NCR** i **NGCR** (trafne wskazanie MRO i metody standardowej), albo należy jednocześnie do klas **R**, **CR** i **NGCR** lub do klas **N**, **NCR** i **GCR** (nietrafne wskazanie MRO i metody standardowej). Na przykład, na obszarze A, dzięki pełnej informacji o rozkładzie stref **GCR/NGCR**, można było stwierdzić 14 otworów pierwszego typu, 6 — drugiego typu, 0 — trzeciego typu, 3 — czwartego typu oraz 4 przypadki niejasne (otwory na granicy **GCR** i **NGCR**). Dalszej analizie poddano zatem tylko te wyniki klasyfikacji, które dawały wskazania przeciwne niż metoda standardowa (obszar lub otwór należący do  $\{\mathbf{R} \cap \mathbf{NCR}\}$  albo do  $\{\mathbf{N} \cap \mathbf{CR}\}$ ). Analiza taka może mieć charakter powierzchniowy bądź punktowy. W pierwszym przypadku można by jej dokonać tylko na obszarze A (zob. np. rys. 7), a ponadto zachodziłaby konieczność wyznaczenia tam granic obszarów **R** i **CR**. Byłoby to jednak utrudnione, ponieważ granice te są określone różnymi metodami (**R** poprzez interpolację metodą geostatystyczną, **CR** — granicami bloków Boł-

dyriewa), a przez to — trudno porównywalne. Dokonano zatem tylko analizy punktowej otworów ze zbioru:

$$\{(\mathbf{R} \cap \text{NCR}) \cup (\mathbf{N} \cap \text{CR})\}, \text{liczącego 44 otwory}$$

Sytuacje trafnych wskazań MRO (opatrzone w poniższym zestawieniu symbolem [+]) i jednocześnie nietrafnych wskazań metody tradycyjnej stanowią otwory ze zbioru:

$$\{(\mathbf{R} \cap \text{GCR} \cap \text{NCR}) \cup (\mathbf{N} \cap \text{NGCR} \cap \text{CR})\}$$

Przypadki nietrafnych wskazań MRO (opatrzone symbolem [-]) i jednocześnie trafnych wskazań metody tradycyjnej stanowią otwory ze zbioru:

$$\{(\mathbf{N} \cap \text{GCR} \cap \text{CR}) \cup (\mathbf{R} \cap \text{NGCR} \cap \text{NCR})\}$$

Ponadto pojawiły się sytuacje niejasne, gdzie nie można było określić w sposób pewny, czy otwór należy do GCR czy do NGCR (sytuacje oznaczone symbolem [0]).

Wyniki zostaną omówione oddzielnie w poszczególnych obszarach górniczych. Podczas interpretacji, otwory zostały rozdzielone na „starsze” i „młodsze”.

### Obszar A

Na obszarze A (ryc. 8 i 8A) możliwe było najpełniejsze skonfrontowanie ciał rudnych i stref płonnych zdefiniowanych układami klas: GCR/NGCR, CR/NCR i R/N.

— NCR (otwory negatywne, tj. o zerowej wydajności), zaklasyfikowane przez MRO jako rudne (R):

- otwór nr 1 (młodszy) — leży wewnątrz GCR [+],
- otwór nr 2 (młodszy) — leży wewnątrz GCR, tuż przy jego granicy [0].

— Otwory pozytywne (CR) o wydajności powyżej 200 kg/m<sup>2</sup>, zaklasyfikowane przez MRO jako nierudne (N):

- otwór nr 3 — (starszy) leży wewnątrz GCR, tuż przy jego granicy [0],
- otwór nr 4 — (starszy) leży daleko poza GCR [+],
- otwór nr 5 (młodszy) — leży wewnątrz GCR, tuż przy jego granicy z wąską, południkową strefą płonną, dzielącą ciało rudne z II horyzontu rudnego [0],
- otwór nr 6 — (starszy) leży w ww. strefie płonnej [+],
- otwór nr 7 — (starszy) leży poza GCR [+],
- otwór nr 8 — (starszy) leży poza GCR, tuż przy jego granicy [0],
- otwór nr 9 (młodszy) — leży na granicy obszaru górniczego i GCR [0],
- otwór nr 10 — (starszy) leży poza GCR, tuż przy jego granicy [0].

— Otwory pozytywne (CR) o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup>, zaklasyfikowane przez MRO jako nierudne (N):

- otwór nr 11 (starszy) leży poza GCR [+],
- otwór nr 12 — (starszy) leży wewnątrz GCR, tuż przy jego granicy z wąską, południkową strefą płonną, dzielącą ciało rudne z II horyzontu rudnego [0],

- otwór nr 13 (młodszy) — leży wewnątrz GCR [-],
- otwór nr 14 — leży wewnątrz GCR [-],
- otwór nr 15 — (starszy) leży najprawdopodobniej wewnątrz GCR (formalnie na zewnątrz GCR), na granicy obszaru górniczego [-],
- otwór nr 16 (młodszy) — leży poza GCR, na granicy obszaru górniczego [+].

Podsumowując powyższe ustalenia można stwierdzić, że w 6 przypadkach (przypadki [+]) MRO dały wskazania (R/N) trafne z rozmieszczeniem GCR/NGCR, podczas gdy wskazania CR/NCR były nietrafne (niezgodne z obydwojma pierwszymi); w 3 przypadkach była sytuacja odwrotna (przypadki [-]), natomiast 7 otworów leżało w pobliżu granic górniczych ciał rudnych (po ich obu stronach; przypadki [0]). Analiza ta nie uwzględnia częstych przypadków odmowy klasyfikacji.

### Obszar B1

MRO wskazały na granicy obszaru górniczego trzy otwory pozytywne (CR) o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup>, jako nierudne (N):

- otwór nr 17 (młodszy): ciało rudne (GCR) w III horyzoncie rudnym (wyeksploatowane; informacja z 1999 r.) [-],
- otwór nr 18 (młodszy): położony poza zasięgiem „zwartych” ciał rudnych (GCR); odstąpiono od rozpoznawania robotami chodnikowymi [0],
- otwór nr 19 (młodszy): weryfikacja po zakończeniu eksploatacji wykazała, że jest to otwór klasy NGCR [+].

### Obszar B2

Brak jest tutaj zgodnych wskazań MRO (R/N) rozbieżnych ze wskazaniami CR/NCR.

### Obszar B3

MRO wskazały zgodnie jako nierudne (N) następujące otwory pozytywne (CR):

- otwór nr 20 (starszy) o wydajności ponad 200 kg/m<sup>2</sup> (CR) na granicy obszaru górniczego: zlokalizowany poza zasięgiem „zwartych” ciał rudnych (NGCR; otwór nie będzie przedmiotem dalszej weryfikacji górniczej); najprawdopodobniej otwór ten przeciął strefę nieekonomicznej mineralizacji żyłowo-żyłkowej [+],
- oraz otwory o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup> (CR):
- otwór nr 21 (starszy): zlokalizowany poza zasięgiem „zwartych” ciał rudnych (NGCR; otwór nie będzie weryfikowany górniczo) [+],
  - otwór nr 22 (starszy) — potwierdzono (górniczo) brak okruszcowania (NGCR) [+],
  - otwór nr 23 (starszy): jego weryfikacja sposobem górniczym będzie dokonana w najbliższych latach [0].

### Obszar B4

Obszar Okradziejówki (B4) został w ostatniej analizie możliwości zagospodarowania złoża, przeprowadzonej przez Służbę Geologiczną, uznany za obszar występowania mineralizacji żyłowo-żyłkowej (NGCR) i wyłączony z planów zagospodarowania. W dwóch przypadkach niezgodnych wskazań MRO i metody standardowej, MRO wskazały otwory nierudne (N),



podczas gdy metoda standardowa wykazała tu istnienie ciała rudnego. Ze względu jednak na nieekonomiczny charakter mineralizacji, należy formalnie prognozę standardową uznać za nietrafną. Są to następujące otwory:

- otwór nr 24 (młodszy; wydajność ponad 200 kg/m<sup>2</sup>) [+],
- otwór nr 25 (starszy, wydajność do 200 kg/m<sup>2</sup>) [+].

### **Rejon poza obszarami górnicyzmi**

Na obszarze tym, który został uznany przez dokumentatorów za nieperspektywiczny, znajduje się wiele (41) otworów negatywnych (o zerowej wydajności; NCR), które zostały zgodnie zaklasyfikowane przez obydwie MRO jako nierudne (N). Wyjątkiem są tylko dwa młodsze otwory negatywne, leżące bardzo blisko (ok. 100 m) od granicy obszaru górnicyzmi: nr 26 i 27, które zostały zaklasyfikowane jako rudne (R) [-]. Jest to zatem przykład dużej zbieżności wskazań na klasy N i NCR.

W tym rejonie jest też 16 otworów pozytywnych (nie wskazanych strzałkami) o wydajności do 200 kg/m<sup>2</sup> (por. rys. 8) oraz jeden otwór (nr 28) o wydajności powyżej 200 kg/m<sup>2</sup>, rozpoznanych jako nierudne (N) przez obydwie MRO. Mimo spełnienia kryteriów bilansowości (CR), otwory te leżą w strefie nieperspektywicznej (NGCR), poza zasięgiem „zwartych” ciał rudnych, zatem zaklasyfikowanie ich do klasy N świadczy formalnie na korzyść użytej metodyki [+]. W ścisłym ujęciu, uzyskane za pomocą MRO wyniki znaczą, iż poza obszarami górnicyzmi nie ma warunków charakterystycznych dla strefy złożowej, reprezentowanej przez otwory wzorcowe.

### **Zbiornicze wyniki weryfikacji**

Ogółem, na obszarach górnicyzmi A-B4 można się doliczyć 12 przypadków oznaczonych symbolem [+], 4 — symbolem [-] i 9 — symbolem [0], natomiast na całym badanym obszarze — 29 przypadków oznaczonych symbolem [+], 6 — symbolem [-] i 9 — symbolem [0].

Ponadto, z danych uzyskanych z obszaru A wynika, że wśród zgodnych wskazań MRO i metody standardowej jest zdecydowana przewaga wskazań trafnych (20 przypadków) nad nietrafnymi (3 przypadki).

Uzyskane wyniki stawiają w korzystnym świetle zaproponowaną metodykę.

### **Podsumowanie i wnioski**

Podsumowując dotychczasowe ustalenia należałoby stwierdzić, że wskazania przez MRO stref i otworów perspektywicznych (R) nie są obciążone większymi błędami niż przy podejściu standardowym (CR). Dotyczy to zarówno otworów starych, jak i nowych i jest widoczne zarówno w prognozie powierzchniowej, opartej na wynikach zastosowania algorytmu Kora-3 (rys. 7), jak i w prognozie dyskretnej z wykorzystaniem zgodnych wskazań obu użytych metod rozpoznawania obrazów (zbiornicze wyniki klasyfikacji w rozdz. 3.2.2 oraz mapki — rys. 8 i 8A).

W przypadku prognozy powierzchniowej, można zauważyć dużą zgodność uzyskanych wyników z prognozą standardową, tzn. z rozkładem stref CR i NCR, tu przedstawionym w formie dyskretnej, poprzez rozkład otworów o określonej wydajności. Można to zaobser-

wować zwłaszcza w najstarszej części obszaru górniczego (obszar A). Jak już wspomniano, tylko na tym obszarze możliwa była pełna weryfikacja wykonanej prognozy, a także prognozy standardowej, ponieważ tylko z tego obszaru były dostępne powierzchniowe dane o rozkładzie stref GCR i NGCR. Dzięki temu można stwierdzić, że obydwie prognozy dobrze oddają rzeczywisty rozkład mineralizacji ekonomicznej, przy popełnieniu błędów tego samego rzędu.

Wyniki prognozy dyskretnej MRO są również w dużej mierze zgodne z rozkładem stref CR i NCR (39% zgodności). W każdym przypadku takiej zgodności MRO i metoda standardowa mogą jednocześnie wskazywać trafnie lub błędnie, a więc popełniają ten sam błąd. Z tego powodu zbieżne wyniki nie były weryfikowane (poprzez konfrontację z rozkładem stref GCR/NGCR), zwłaszcza, że uzyskanie pełnej informacji o rozkładzie GCR/NGCR poza obszarem A (w B1-B4) było pracochłonne. Weryfikacja taka, wykonana wyjątkowo na obszarze A (zob. początek rozdz. 3.2.2) wskazuje, że przypadki zgodnych wskazań są w zdecydowanej większości trafne. Lepszą informację o błędach obu prognoz daje weryfikacja wyników dyskretnej klasyfikacji (R/N), rozbieżnych ze wskazaniami metody standardowej (CR/NCR). Wyniki tej weryfikacji wskazują, że MRO popełniają nieco mniej błędów niż metoda tradycyjna.

Niestety, klasyfikacja dyskretna za pomocą obu metod rozpoznawania obrazów jednocześnie ma pewien mankament — dużo przypadków odmowy klasyfikacji. Można zauważyć (tab. 3), że zjawisko to występuje częściej wśród otworów starszych (50% niesklasyfikowanych) w porównaniu z młodszymi (37% niesklasyfikowanych). W efekcie — zarówno otwory perspektywiczne jak i nieperspektywiczne są wskazane ze znacznym niedomiarem.

Zjawisko to wymaga głębszego komentarza. Odmowa klasyfikacji występuje wtedy (zob. rozdz. 2.6 i 3.2), gdy otwór jest zaklasyfikowany przez metodę FP do innej klasy niż przez metodę Kora-3, lub wtedy, kiedy FP daje niepewną klasyfikację do klasy  $R^*$  ( $P(R^*)$ ), przy założeniu przedziału zmniejszonego zaufania (0,45—0,55) do klasyfikacji. Oczywiście, można szukać przyczyn owego zjawiska w specyficznym działaniu algorytmów bądź w zbytnej szerokości wspomnianego wyżej przedziału. Wydaje się jednak, że bezpośrednie przyczyny są związane z charakterem wykorzystanych w obliczeniach danych, przede wszystkim z małą liczbą otworów wzorcowych w stosunku do zmienności złoża i nierównomiernym ich rozmieszczeniem.

Aby czytelnie zobrazować rozmieszczenie otworów niesklasyfikowanych, sklasyfikowanych i wzorcowych, na podkładzie mapy prognostycznej (z rys. 8) przedstawiono tylko potrzebne elementy. Na tak zestawionej mapie (rys. 8B) można zauważyć, że otwory niesklasyfikowane znajdują się przeważnie w rejonach pozbawionych wzorców. Tak więc wzorce leżą od nich zbyt daleko, nie tylko w przestrzeni geograficznej, ale i w przestrzeni cech — otwory niesklasyfikowane są wtedy za mało podobne do wzorców. Przy dużej zmienności złoża oddalenie geograficzne wzorców od obiektów sklasyfikowanych powoduje zatem nierozpoznanie warunków złożowych.

Można sformułować tezę, iż pierwotną przyczyną niemożności sklasyfikowania otworu z użyciem oddalonych od niego wzorców jest to, że postulowany wcześniej związek między ekonomiczną mineralizacją (lub jej brakiem) a wartościami cech litologiczno-stratygraficznych ma najprawdopodobniej charakter słaby i lokalny. Wartości wspomnianych cech, opisujące otwór oddalony od wzorców, różnią się na tyle słabo od wartości cech charakterystycznych dla obszarów złożowych (lub niezłożowych), skąd pobrano wzorce, że nie następuje jeszcze błędna



klasyfikacja, ale odmowa klasyfikacji. Ponieważ wartości cech litologiczno-stratygraficznych nie zmieniają się gwałtownie w przestrzeni złoża, odpowiedzialna za słaby i lokalny charakter wspomnianego związku jest duża zmienność w rozmieszczeniu ekonomicznej mineralizacji rudnej wewnątrz horyzontów rudnych. Nawet użycie do charakterystyki otworów dwóch cech mierzących wprost intensywność mineralizacji (% Zn i % Pb) nie wpłynęło na lepsze uchwycenie tej zmienności i na polepszenie prognozy rudnej.

Wydaje się zatem oczywiste, że najprostszą drogą do poprawy jakości prognozy byłyby taki dobór wzorców, aby były one blisko obiektów klasyfikowanych (duża gęstość opróbowania). Można rozważać złagodzenie kryterium doboru wzorców rudnych (obniżenie krytycznej wydajności z otworu), ale byłoby to niekorzystne, ponieważ wśród wzorców rudnych znalazłoby się wtedy wiele otworów spoza stref rudnych typu GCR, a więc reprezentacja ekonomicznej mineralizacji byłaby osłabiona. Z kolei zupełna zmiana kryterium poprzez dobór wzorców tylko ze stref GCR/NGCR prowadziłyby do tego, iż nie można by było dokonać prognozy rudnej poza rejonem kopalni, co podważałoby zasadność stosowania MRO.

Przy założeniu, że dotychczasowe, dosyć ostre kryterium doboru wzorców rudnych (zob. rozdz. 2.1) zostanie utrzymane, zbliżenie wzorców do otworów klasyfikowanych można osiągnąć mając do dyspozycji gęstszą siatkę wierceń niż obecna (rozpoznanie w kategorii C1). Znalezienie dużej liczby otworów spełniających wspomniane ostre kryterium byłoby wówczas bardziej prawdopodobne.

Być może istnieje jeszcze inna przyczyna licznych przypadków odmowy klasyfikacji — zbyt duża generalizacja, w całym ogniwach litostratygraficznych, wartości cech litologiczno-stratygraficznych (zob. rozdz. 2.2), co mogło spowodować osłabienie związku między wartościami tych cech a intensywnością mineralizacji.

Reasumując można stwierdzić, że przy istniejących ograniczeniach w stosowaniu MRO, osiągnięto wyniki optymalne.

Jak zasygnalizowano we wstępie, zasadniczym celem niniejszej pracy było sprawdzenie, czy uwzględnienie nie tylko zawartości metali, ale także cech litologiczno-stratygraficznych, opisujących triasowe skały goszczące mineralizację rudną, poprawi jakość prognozy rudnej w rejonie złoża Trzebieńka w stosunku do prognozy standardowej. Innymi słowy, należy odpowiedzieć na pytanie, czy użycie dodatkowych cech i zastosowanie zaproponowanej metodyki ich przetwarzania — metod rozpoznawania obrazów, wniesie jakiś istotny wkład do prognozy rudnej.

1. Podstawowym problemem w stosowaniu MRO jest niejednoznaczność wyników, jaka ujawniła się podczas klasyfikacji dyskretnej otworów — spora liczba otworów nie została sklasyfikowana. Jest to zapewne wynikiem zbyt rzadko rozmieszczonych wzorców w stosunku do dużej zmienności ekonomicznej mineralizacji rudnej, co wynika z małej ich liczby, czego z kolei przyczyną jest zbyt rzadka siatka wierceń i konieczność stosowania ostrego kryterium doboru wzorców rudnych. Pierwotną przyczyną osłabienia efektywności metody jest najprawdopodobniej to, że zmienność ta jest słabo uzależniona od zmienności cech litologiczno-stratygraficznych skał goszczących mineralizację.

2. Pewien wpływ na odmowę klasyfikacji ma przyjęta metodyka stosowania MRO, zmierzająca do wydzielenia otworów sklasyfikowanych z dużą dozą pewności. Otwory sklasyfikowane tworzą prognozę nie gorszą od standardowej, a wręcz — nieco lepszą. Dzieje się tak



dlatego, że częste przypadki błędnego określenia metali w rdzeniu wśród otworów z lat pięćdziesiątych powodują większe błędy w prognozie standardowej niż w prognozie proponowanej w niniejszej pracy.

3. Przytoczone fakty wskazują, że użycie cech litologiczno-stratygraficznych i MRO nie może zastąpić tradycyjnej prognozy rudnej, ale wzbogaca naszą wiedzę o rozmieszczeniu ciał rudnych. Dlatego, pomimo ujawnionych ograniczeń stosowalności metod rozpoznawania obrazów, mogą być one używane jako pomocnicze przy projektowaniu eksploatacji.

#### LITERATURA

- Ajzerman M.A., Brawerman E.M., Rozonoer L.I., 1976 — Rozpoznawanie obrazów. Metoda funkcji potencjalnych. Warszawa [tłum. z ros., 1970].
- Bongard M.M., Waincwaig M.N., Guberman S.A., Izwekova M.L., Smirnow M.S., 1966 — Ispolzowanie obuczajuszczesija programmy dla wyjawlenia nieftienosnych płastow. Geologija i Geofizika No 6, s. 96—105.
- Górecka E., 1993 — Geological setting of the Silesian — Cracow Zn-Pb deposits. Geol. Quart. Vol. 37, No. 2, p. 127—146.
- Harff J., Davis J.S., Olea R.A., 1992 — Quantitative Assessment of Mineral Resources with an Application to Petroleum Geology. Nonrenewable Resources vol. 1, No 1, p. 74—84.
- Jarrin J., Nieć M., 1993 — Application of the ore accumulation coefficient to the interpretation of the structure of MVT Zn-Pb ore deposit (Rodaki-Rokitno Szlacheckie deposit, Poland). Geol. Quart. Vol. 37, No. 2, p. 189—208.
- Journel A.G., Huijbregts C.J., 1978 — Mining geostatistics. London, Academic Press, p. 1—600; 476.
- Kogan R. I., Biełow Ju. P., Rodionow D. A., 1983 — Statisticeskije rangowije kriterii w geologii. Moskwa, Nedra.
- Kotlarczyk J., Mastej W., Dudek K., Flaga-Piekarz D., Rolewicz J., Słomka E., 1988 — Pattern Recognition — A method of prospection for stratoidal Zinc-Lead ore deposits. [W:] Geomathematics and Geostatistics Analysis Applied to Space and Time Dependent Data, Ser. Informatique geologique. Sciences de la Terre 27, s. 481—493.
- Kotlarczyk J., Mastej W., Dudek K., Flaga-Piekarz D., Rolewicz J., Słomka E., 1991 — Doświadczenia z rozpoznawaniem obrazów w poszukiwaniach złóż Zn-Pb. Prz. Geol. nr 11—12. Wydawnictwa Geologiczne, s. 527—530, Warszawa.
- Kotlarczyk J., Mastej W., 1994 — Utility of Selected Pattern Recognition Algorithms for Determining the Range of Ore Bodies in the Zn-Pb „Pomorzany” Mine (Poland). Ser. Informatique Geologique. Science de la Terre no 32.
- Kotlarczyk J., Mastej W., 1996 — Prognostyczne szacowanie ilościowe złóż Zn-Pb w Polsce z zastosowaniem procedury J.Harffa — J.C.Davisa — R.A.Olea. Prz. Geol. vol. 44, nr 11, s. 1095—1097.
- Kotlarczyk J., Jucha S.F., Mastej W., Namysłowska-Wilczyńska B., 1999 — Rozpoznawanie obrazów w prospekcji stref naftowych w cenomanie i malmie synklinorium Nidy. Gosp. Sur. Min. t. 15, zeszyt specjalny, s. 45—68, Kraków.
- Mastej W., 1998 — Modelowanie złoża rud Zn-Pb Trzebieńka za pomocą metod rozpoznawania obrazów. Praca doktorska. Archiwum Bibl. Gł. AGH.
- Puri M. L., Sen P. K., 1971 — Nonparametric Methods in Multivariate Analysis. New York. Wiley & Sons.
- Sobczak W., Malina W., 1985 — Metody selekcji i redukcji informacji. WNT, Warszawa.
- Szuwarzyński M., 1983a — Tektonika starokimeryjska a procesy złóżotwórcze w synklinie chrzanowskiej. Rudy Metale R. 28, nr 4, s. 117—121.
- Szuwarzyński M., 1983b — Charakterystyka jednego z ciał rudnych ze złoża rud cynku i ołowiu kopalni Trzebieńka. Roczn. Pol. Tow. Geol. t. 53, s. 255—266, Kraków.

- Szuwarzyński M., 1986a — O rozwoju mineralizacji Zn-Pb w okolicy Chrzanowa. *Rudy Metale R.* 31, nr 12, s. 476—489.
- Szuwarzyński M., 1986b — Okruszcowanie stropowej części warstw gogolińskich w złożu Trzebionka. *Rudy Metale R.* 31, nr 6, s. 186—190.
- Szuwarzyński M., 1993 — The lead and zinc deposits in the vicinity of Chrzanów. *Geol. Quart.* vol. 37, No. 2, p. 209—228.
- Szuwarzyński M., 1996 — Ore bodies in the Silesian-Cracow Zn-Pb district, Poland. *Pr. PIG t. CLIV*, s. 9—24, Warszawa.
- Tamura R., 1966 — Multivariate nonparametric several-sample tests. *Ann. Math. Statist.* vol. 37, p. 611—618.

WOJCIECH MASTEJ

**APPLICATION OF THE PATTERN RECOGNITION AND THE GEOSTATISTICAL METHODS TO INDICATE Zn-Pb OREBODIES IN THE "TRZEBIONKA" DEPOSIT (POLAND)**

**Key words**

Zn-Pb ore deposits, pattern recognition, feature informativity, geostatistics

**Abstract**

Hitherto, the ranges of Zn-Pb orebodies have been determined on the base of Zn + Pb contents in borcholes. In general, this approach give good results, but not ever when concerning data from older drillings (frequent decrease of barren or ore minerals from drill cores). This problem could be solved by using not only contents of metals, but other parameters too. Because of numerous of such parameters, the methods of supervised classification i.e. the pattern recognition methods (the potential function and "Kora-3" algorithms) were used to performance the multidimensional data to one number only — the probability that particular borcholes would reveal the characteristic conditions for occurrence of orebody. To compute the probabilities in localities among existing drillings, the geostatistical methods were used. Using the bayesian equation, these probabilities were changed into probabilities, that particular borcholes would recover an orebody.

Investigations were conduct on the base of data originated from 273 borcholes, drilled in the mine area (before its foundation) and its vicinity. At first, each drilling was described by 386 lithological, stratigraphical and tectonical features. Before classification, this number was reduced (Puri-Scn-Tamura algorithm) to 14 informative features.

Though with shortness, obtained results allow one to indicate the areas of high probability of occurrence of orebodies. Such areas, inside exhausted part of the mine, can be verified on the basis of the comparison with the borders of orebodies, which are proved by the exploitation. It is also possible to compare the areas with the orebodies, pointed in the standard prognosis, based on the metal content in the borcholes. The two comparisons show, that the quality of the pattern recognition method prognosis is similar to the standard prognosis. Moreover, the first prognosis delivers the new information to the second one. The information can be used as auxiliary one to better determine real distribution of orebodies. Besides, in the stage of searching for informative features, the most informative ones were found. They should reveal connections with genesis of the ore deposit, but, in this case, such interpretation was impossible.