

Prognostyczne szacowanie ilościowe złóż Zn-Pb w Polsce z zastosowaniem procedury Harffa-Davisa-Olea

Janusz Kotlarczyk*, Wojciech Mastej*

Prognostic quantitative estimation of Zn-Pb deposits in Poland using the Harff-Davis-Olea procedure

S u m m a r y. The main goal of quantitative methods in the deposit evaluation is pointing the most perspective regions within the area being recognised through boreholes. Since many years the authors (Kotlarczyk et al., 1988; Kotlarczyk & Mastej, 1993, 1995, Kotlarczyk, Mastej & Blaschke, 1994) present the results achieved by selected pattern recognition methods (Kora-3, potential function, K-nearest neighbours). Harff, Davis and Olea (1992) have presented the method of oil and gas deposits assessment by using the Mahalanobis' distance. The present paper is a trial of using the method for Polish Zn-Pb deposits. The testing ground was, as before, the exhausted part of deposit Pomorzany. Pomorzany mine is situated within Cracovian-Silesian region of Zn-Pb ore deposits. The deposits are of Mississippi Valley type. Within ore bodies occur irregular barren fields. The experiments were carried out for the data collected from 140 boreholes drilled in the first stage of prospection. The ore patterns of the predictor class 1 were selected from boreholes with a high content of metals while the pattern of predictor class 2 — from those completely free of metals and very low in them. At the same time the information on the ore and non-ore zones, shown by exploitation was ignored. In that way, the first stages of the geological prospection of the deposit were recovered. Among 23 features expressed in ratio scale, by Kullback method, there were 15 informative features selected. The resultant map (fig. 4) is highly consistent with the information achieved during the exploitation. Practically, the probability less than 0.3 indicates actual barren fields. Because of the tests conducted in the area of the exhausted part of the mine, the Harff-Davis-Olea procedure was positively verified.

Podstawowym celem stosowania metod ilościowych w ocenie złóż jest wskazanie najbardziej perspektywicznych rejonów w obszarze rozpoznawanym za pomocą wierceń. Od wielu lat autorzy (Kotlarczyk i in., 1988; Kotlarczyk & Mastej, 1993, 1995; Kotlarczyk i in., 1994) prezentują wyniki uzyskane za pomocą wybranych metod rozpoznawania obrazów (Kora-3, uogólniony portret, funkcje potencjalne, metoda K-najbliższych sąsiadów). Harff, Davis i Olea (1992) przedstawili propozycję szacowania perspektywiczności obszarów złożowych ropy i gazu z wykorzystaniem odległości Mahalanobisa (krótkie omówienie metody zamieszczono w aneksie). Niniejsze opracowanie jest próbą zastosowania tej ostatniej procedury do rozpoznawania polskich złóż Zn-Pb obszaru śląsko-krakowskiego. Badania przeprowadzono w ramach działalności statutowej AGH (temat 11.140.50). Jak uprzednio, poligonem doświadczalnym była wyeksploatowana część złoża Pomorzany koło Olkusza, w której naturalne granice między obszarami płonnymi i zasobnymi w rudę zostały dokładnie ustalone. Złoże jest typu Mississippi Valley (Dżułyński, Ridge & Sass-Gustkiewicz, 1982). W ciałach rudnych występują sporadycznie nieregularne pola płonne o różnej wielkości.

W standardowej metodzie oceny złoża za pomocą siatki wierceń, o zaklasyfikowaniu otworu do ciała rudnego decyduje ekonomiczna zawartość metali w rdzeniu. Rezultaty tej metody chemicznej przed-

stawia się standardowo na mapie jako wieloboki Bołdyriewa. Prognoza ta jest jednak niedokładna, gdyż oprócz rozpoznania otworami realnych pól płonnych, mogą być zarejestrowane również pozorne (nie istniejące) pola płonne. Ma to miejsce w tych przypadkach, kiedy niedobór metali wynika z utraty rdzenia na wskutek usterek technologicznych. W rozpatrywanym przypadku, spośród otworów badanych przebijających ciało rudne stwierdzone eksploatacją, 37% otworów zostało błędnie wskazanych jako płonne, co stanowi 28% wszystkich badanych otworów.

Przy dokumentowaniu zasobów i projektowaniu eksploatacji muszą być jednakże uwzględniane pustki obu rodzajów, gdyż nie można się uwolnić od błędnych wskazań.

Przy przyjęciu założenia istnienia związku mineralizacji epigenetycznej z cechami litologiczno-stratygraficzno-tektonicznymi formacji goszczących ciała rudne, wskazanie obszarów rudnych i płonnych na podstawie tych bardziej stabilnych i łatwo czytelnych cech (geologiczne zmienne predykcyjne) wydawało się obiecujące a użycie metod, tzw. klasyfikacji nadzorowanej w rozpoznawaniu — w pełni uzasadnione.

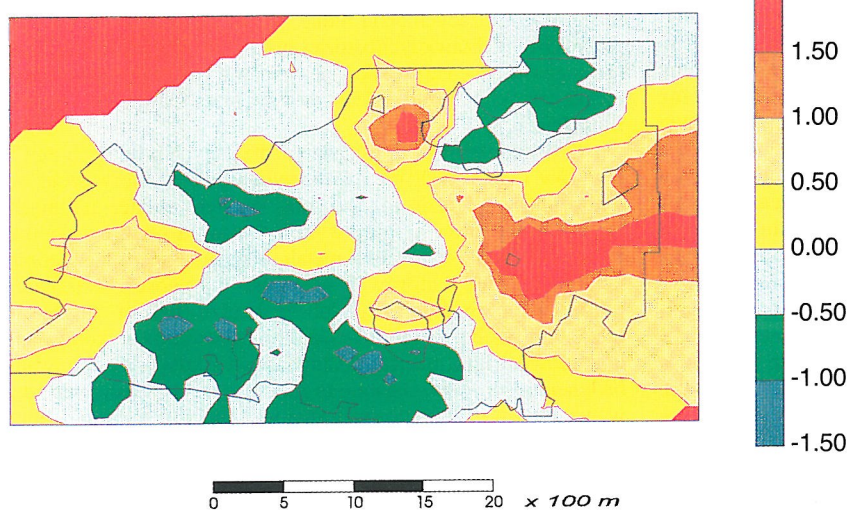
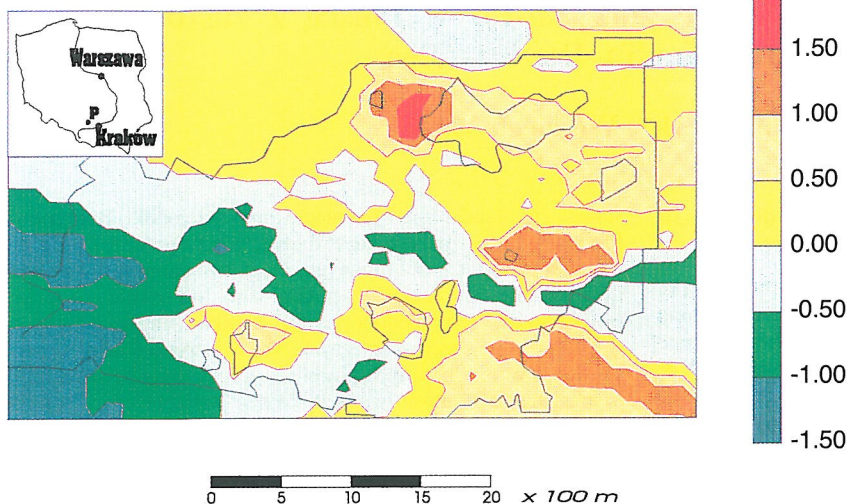
Doświadczenia przeprowadzono dla danych zebranych ze 137 otworów (zapisanych jako wielowymiarowe wektory cech) odwierconych w I fazie rozpoznania. Wzorce rudne, definiujące klasę predyktorów 1, były wybrane spośród otworów wiertniczych o wysokiej zasobności metali a wzorce nierudne, definiujące klasę predyktorów 2 — spośród otworów całkowicie pozbawionych mineralizacji lub o bardzo niskiej zasobności metali. Przy doborze wzorców klas zrezygnowano z wykorzystania dodatkowych informacji uzyskanych w wyniku wyeksploatowania badanej części złoża. Osłabiło to zapewne efektywność rozpoznawania ale umożliwiło pozorowanie warunków pierwszego etapu standardowego geologicznego rozpoznania złoża. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie, czy przeniesienie tej metodyki w warunki rozpoznawania nowych złóż, może przynieść zadowalające rezultaty.

Wyznaczenie cech informatywnych

Spośród 23 cech wyrażonych w skali stosunkowej, wyselekcjonowano metodą Kullbacka 15 cech informatywnych. Wartości tych cech były mierzone w każdym badanym otworze wiertniczym bądź w stosunku do niego. Należą do nich (w nawiasach podano kolejno średnie występujące w klasach predyktorów 1 i 2):

- 1) odległość od najbliższego dużego (zrzut ponad 40 m) uskoku w stropie retu (449,3 m; 522,8 m);
- 2) odległość od najbliższego skrzyżowania uskoku w stropie retu (169,3; 33,2 m);
- 3) azymut (w przedziale 0–180°) najbliższego uskoku występującego w stropie retu (41,5°; 52,6°);
- 4) azymut kierunku upadu stropu retu (118,9°; 167,3°);
- 5) odległość od najbliższej osi fałdu w utworach paleozoicznych (1337,8 m; 1212,0 m);
- 6) odległość od najbliższej skały magmowej (8960,7 m; 8801,5 m);
- 7) miąższość wapienia muszlowego (60,1 m; 20,1 m);
- 8) miąższość kajpru (19,3 m; 19,6 m);
- 9) miąższość dolomitów kruszczośnych (37,3 m; 23,1 m);
- 10) odległość spągu dolomitów kruszczośnych od stropu retu (16,6 m; 8,3 m);

*Zakład Geologii Ogólnej i Matematycznej,
Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków



11) odległość stropu dolomitów kruszczośnych od najbliższej wyżej leżącej wkładki iłowej (13,4 m; 12,7 m);

12) stosunek miąższości dolomitów kruszczośnych do miąższości warstw KTG (karchowickich — terebratulowych — gorządzańskich) (93,1%; 59,1%);

13) wysokość zalegania stropu retu (161,1 m; 53,9 m npm);

14) wysokość zalegania stropu warstw gogolińskich (210,0 m npm; 176,3 m npm);

15) wysokość zalegania stropu dolomitów kruszczośnych (246,5 m npm; 227,7 m npm);

Cechy te pozwalają na rozróżnienie obu klas predyktorów. Podane średnie są jedynie ilustracją faktu, że nawet niewielkie różnice średnich są, w rozpatrywanym przypadku, wystarczające aby cecha była informatywna.

Odległość Mahalanobisa jako miara podobieństwa.

Dla każdego otworu obliczono odległość Mahalanobisa względem wielowymiarowych centroidów klasy predyktorów 1 i 2. Wartości te były następnie normalizowane celem uzyskania rozkładu normalnego $N(0,1)$ (Journel & Huijbregts, 1978). Ponieważ siatka otworów była nieregularna i rzadka, za pomocą zwykłego krigingu oszacowano wartości odległości Mahalanobisa w 1500 węzłach założonej siatki ortogonalnej. Wyniki kolejnych etapów procedury przedstawiono na ryc. 1, 2, 3, 4. Na mapie odległości od

wielowymiarowego centroidu klasy predyktorów 1 (ryc. 1) można zaobserwować, iż izolinie o wartości $+0,5$ znormalizowanych odległości Mahalanobisa są dość bliskie granicy między ciałami rudnymi (klasa docelowa *ruda*) a obszarami płonnymi (klasa docelowa *nieruda*). Podobnie na mapie odległości od centroidu klasy predyktorów 2 (ryc. 2), na obszary płonne zdają się wskazywać izolinie $< -0,5$. W obu przypadkach odwzorowanie nie jest zbyt precyzyjne, oddaje jednak charakter gniazdowy pustek. Uzyskane wyniki nie są bardziej dokładne niż w przypadku wykorzystanych wcześniej przez autorów algorytmów rozpoznawania obrazów.

Prawdopodobieństwo wystąpienia ciał rudnych.

Dysponując estymatami krigingowymi i krigingowymi odchyleniami standardowymi znormalizowanych odległości Mahalanobisa dla poszczególnych otworów od klasy predyktorów 1 i 2, zostały obliczone wartości prawdopodobieństwa, że otwór odwiercony w dowolnym punkcie obszaru będzie zaklasyfikowany jako należący do klasy predyktorów 1 (ryc. 3). Celem uzyskania mapy informującej o prawdopodobieństwie, że projektowany otwór będzie należał do klasy docelowej *ruda*, niezbędne jest obliczenie prawdopodobieństwa warunkowego P (klasa docelowa *ruda*, klasa predyktorów 1). Za pomocą funkcji dyskryminu-

←

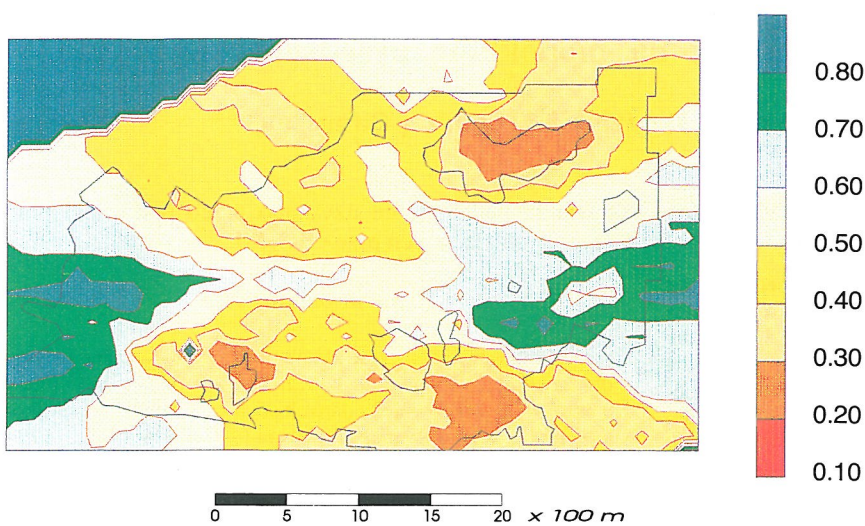
Ryc. 1. Konturowa mapa odległości od klasy 1, obliczona przy użyciu zwykłego krigingu. Wartości odległości zostały znormalizowane. P — obszar badań (Pomorzany). Czarną linią zaznaczono na wszystkich rycinach granicę wyeksploatowanej części ciała rudnego (klasa *ruda*). Położone wewnątrz mniejsze czarne kontury reprezentują granice małych obszarów płonnych (klasa *nieruda*). Izolinie poza granicą wyeksploatowanej części ciała rudnego nie mają znaczenia

Fig. 1. Contour map of Mahalanobis distance to class 1, estimated using ordinary kriging. Distance values were normalized. P — studied area (Pomorzany). On all the figures, the boundary of exhausted part of the ore body (ore class) was marked by black line. Smaller black contours distributed within this ore body represent boundaries of small barren fields (barren class). Isolines, which are situated out of exhausted part of the ore body, are not significant

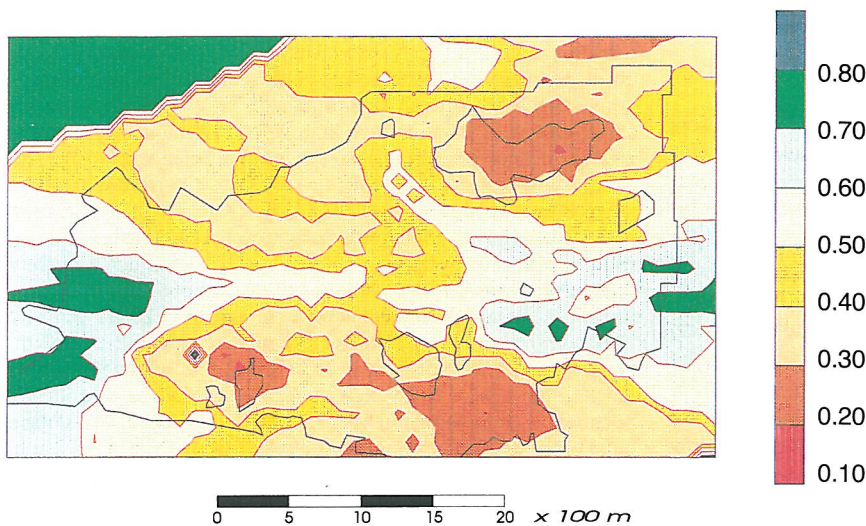
←

Ryc. 2. Konturowa mapa odległości od klasy 2, obliczona przy użyciu zwykłego krigingu. Wartości odległości zostały znormalizowane

Fig. 2. Contour map of Mahalanobis distance to class 2, estimated using ordinary kriging. Distance values were normalized



Ryc. 3. Prawdopodobieństwo, że projektowany otwór zostanie sklasyfikowany jako należący do klasy 1
Fig. 3. Probability that a projected borehole will be classified as belonging to class 1



Ryc. 4. Prawdopodobieństwo, że odwierając projektowany otwór, zostanie ujawnione ciało rudne
Fig. 4. Probability that drilling a projected borehole will result in the discovery of ore body

jącej dokonano klasyfikacji wzorców klas predyktorów i określono wartość tego prawdopodobieństwa jako równą 0,89. Mapa wynikowa (ryc. 4) w znacznym stopniu jest w zgodności z informacją uzyskaną w wyniku eksploatacji. Praktycznie, prawdopodobieństwo mniejsze od 0,3 wskazuje na pola faktycznie płonne.

Wniosek

Dzięki przeprowadzeniu testowania na obszarze, gdzie faktyczne położenie ciał rudnych i płonnych zostało dokładnie określone eksploatacją, procedura Harffa–Davis–Olea została pozytywnie zweryfikowana, a jej przydatność dla strategii rozpoznawania śląsko-krakowskich złóż Zn–Pb wykazana.

Aneks. Prawdopodobieństwo wystąpienia złóż surowców mineralnych, jak złoża rud Zn–Pb, może być szacowana przy użyciu kombinacji metod statystyki wielowymiarowej z technikami geostatystycznymi. W badanym obszarze wyróżniamy części mogące posłużyć za wzorce rejonów rudnych i płonnych, tj. należące do klas docelowych *ruda* (ciało rudne), bądź *nieruda* (pole płonne). Rejony te muszą być jed-

norodne wewnętrznie i jednocześnie muszą różnić się między sobą. Kryterium tego rozróżnienia jest zdeterminowane przez ostateczny cel: rozdzielenie pozostałej, niewzorcowej części obszaru na rejony produktywne i nieproduktywne (klasy docelowe). Za pomocą algorytmu badania informatywności cech ustala się zestaw cech geologicznych, który umożliwia rozróżnienie miejsc wystąpienia ciał rudnych od miejsc płonnych. Każdą klasę docelową wskazuje zestaw otworów wzorcowych, opisanych za pomocą zestawu informatywnych cech geologicznych. Otwory te są geologicznymi predyktorami odpowiedniej klasy docelowej. Możemy zatem mówić o klasie predyktorów 1 związanej z klasą docelową *ruda* i o klasie predyktorów 2 związanej z klasą docelową *nieruda*. Na bazie wyżej wymienionych cech geologicznych, otwór badany jest kojarzony z klasą 1 jeśli odległość Mahalanobisa (w przestrzeni cech) tego otworu od centroidu klasy 1 jest mniejsza niż od centroidu klasy 2. Ponieważ obiekty klasyfikacji są reprezentowane jako punkty na mapie, konieczne jest zastosowanie metody geostatystycznej (wariogramy, kriging) w celu interpolacji uzyskanych wyników klasyfikacji na obszarach między owymi punktami. Przy użyciu krigingowego odchylenia standardowego szacuje się prawdopodobieństwo, że nierozwiercone miejsce będzie należało do klasy predyktorów 1 (lub 2). W końcu, używając wzoru Bayesa, można obliczyć prawdopodobieństwo, że nierozwiercone miejsce będzie należało do klasy docelowej *ruda* (lub *nieruda*).

Literatura

- DŻUŁYŃSKI S., RIDGE J. D. & SASS-GUSTKIEWICZ M. 1982 — [In:] *Econ. Geol.*, 77: 392–412.
 HARFF J., DAVIS J.S. & OLEA R.A. 1992 — [In:] *Nonrenewable Res.*, 1: 77–84.
 JOURNAL A.G. & HUIJBREGTS C.J. 1978 — *Mining geostatistics*. London, Academic Press.
 KOTLARCZYK J., DUDEK K., GŁADYSZ J., MASTEJ W., ROLEWICZ J. & SŁOMKA E. 1988 — [In:] *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sec. Terre*, 27: 481–493.
 KOTLARCZYK J. & MASTEJ W. 1993 — [In:] *Proceedings of Third Codata Conference on Geomathematics and Geostatistics* — June 1993, Enschede, Netherlands.
 KOTLARCZYK J. & MASTEJ W. 1995 — [In:] *Ser. Informatique Geologique. Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sec. Terre*, 32: 331–340.
 KOTLARCZYK J., BLASCHKE Z. & MASTEJ W. 1994 — *The Searching for Barren Fields in Stratoidal Zn–Pb Ore Bodies*. Intern. Conf. of Mathematical Geology, Praha (poster).