

DOKUMENTACJA GEOLOGICZNA ZŁOŻA KRUSZYWA NATURALNEGO ZE WSPOMAGANIEM KOMPUTEROWYM (NA PRZYKŁADZIE ZŁOŻA RZEWNIE)

UKD 553.62.04:681.3

Komputeryzacja, wprowadzana w ostatnich latach w przedsiębiorstwach geologicznych i działach geologicznych kopalń, a także w instytucjach zaplecza naukowo-technicznego, stwarza możliwości udoskonalenia metodyki dokumentowania zasobów. Technika komputerowa pozwala na zastosowanie efektywnych metod analizy wyników rozpoznania złoża.

Mając na uwadze wdrożenie nowych metod do praktyki dokumentowania, opracowano modelową dokumentację geologiczną złoża (3)*. Przedmiot dokumentowania stanowi rozpoznane do kat. C_1 złożo kruszywa naturalnego „Rzewnie” w woj. ostrołęckim. Artykuł ten jest powtórzeniem – z zastosowaniem techniki komputerowej – opracowanej już wcześniej dokumentacji (1). Prezentuje on zasady stosowania metod matematycznych w dokumentowaniu złóż oraz możliwości, jakie one niosą w zakresie usprawnienia prac dokumentacyjnych.

W opracowaniu wykorzystano wiele nowych rozwiązań, wprowadzone zmiany dotyczą zastosowania metod statystycznych i geostatystycznych do opisu zmienności złoża oraz wykorzystania metody krigingu do interpretacji granic złoża i oceny jego zasobów. Na możliwość i celowość stosowania tych metod zwracano już wcześniej uwagę (np. 4, 6, 7).

Wszystkie obliczenia łącznie z wydrukiem map izolinii, przeprowadzono na podstawie własnych programów na mikrokomputerze IBM/KT z kartą CG, wyposażonym w drukarkę SG-15.

OPRACOWANIE WYNIKÓW ROZPOZNANIA ZŁOŻA

Złożo kruszywa naturalnego Rzewnie jest osadem rzeczonym, piaszczysto-żwirowym typu tarasowego o średnim punkcie piaszczystym 67% i średniej miąższości 8,4 m. Zajmuje ono powierzchnię ok. 12 ha.

* Praca finansowana z funduszy Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego 1.7. i Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych.

W celu udokumentowania złoża w kat. C_1 i rozpoznania jakości kopaliny w kat. B wykonano otwory wiertnicze. W trakcie prac wiertniczych przeprowadzono badania wskaźnikowe kruszywa oraz pobrano próbki do badań laboratoryjnych i badań w skali półtechnicznej. Analizowano ok. 10 cech kopaliny. Łącznie na etapie kat. C_1 wykonano 59 otworów. W granicach złoża – uwzględniając otwory wykonane w latach poprzednich (w kat. C_2) – odwiercono 48 otworów. Odległości między nimi wynoszą od ok. 30 m do ok. 100 m.

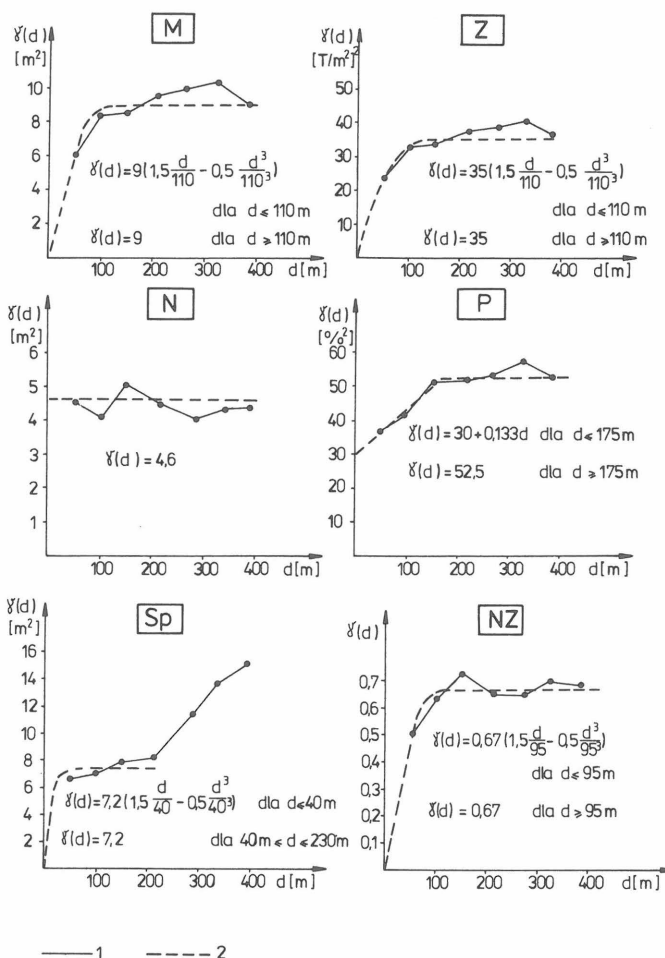
Opracowanie wyników rozpoznania złoża obejmuje zestawienie rozkładów badanych cech złoża oraz analizę wariogramów – funkcji charakteryzujących strukturę ich zmienności. Przedmiot analizy stanowi warstwa złożowa kruszywa grubego wyznaczona w poszczególnych otworach rozpoznawczych na podstawie wyników oceny punktu piaskowego.

Opracowaniem statystycznym objęto wszystkie badane parametry warstwy złożowej w granicach udokumentowanego złoża bilansowego. Dla każdego parametru sporządzono histogram i wyliczono podstawowe parametry statystyczne: wartości skrajne, średnią arytmetyczną, medianę, modę, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności (tab.). Wariogramy obliczono tylko dla podstawowych parametrów złożowych, takich jak: miąższość warstwy złożowej, punkt piaskowy, zasobność, rzędną spągu złoża, grubość nadkładu, wartość stosunku miąższości nadkładu do miąższości warstwy złożowej (ryc. 1).

Wariogramy empiryczne badanych parametrów aproksymowano funkcjami matematycznymi (tzw. mo-

ZMIENNOŚĆ PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH

Parametr	Wymiar	Minimum	Maximum	Średnia arytmetyczna	Mediana	Moda	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
Grubość nadkładu	[m]	3,6	10,5	6,8	6,4	6,0	1,7	25,0
Miąższość warstwy złożowej	[m]	4,0	15,0	9,1	8,9	7,0	2,5	27,5
Zasobność	[T/m ²]	8,0	29,0	18,1	17,7	16,4	5,1	28,1
Głębokość spągu	[m]	9,6	20,0	15,9	16,7	17,8	2,7	17,0
Stosunek N/Z		0,3	1,6	0,8	0,8	0,8	0,3	37,5
Punkt piaskowy	[%]	48,9	79,2	66,2	67,0	69,4	7,0	10,6
Frakcja powyżej 4mm	[%]	14,3	37,4	23,7	22,7	20,0	5,7	24,1



Ryc. 1. Semiwariogramy podstawowych parametrów złoża kruszywa naturalnego Rzewnie

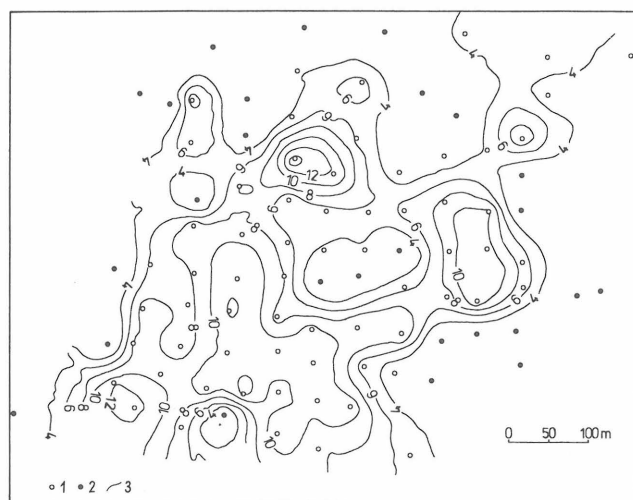
M – miąższość złoża, Z – zasobność złoża, N – grubość nadkładu, P – punkt piaskowy, Sp – rzędna spągu złoża, NZ – stosunek miąższości nadkładu do miąższości złoża, 1 – semiwariogram empiryczny, 2 – model zmienności

Fig. 1. Semivariograms of deposit parameters Rzewnie natural aggregate deposit

M – deposit thickness, Z – deposit yield, N – thickness of overburden, P – "sand index" (content of grains below 2.5 mm), Sp – elevation of deposit bottom over sea level, NZ – Overburden (deposit thickness ratio), 1 – empirical semivariogram, 2 – theoretical semivariogram model

delami teoretycznymi) dla potrzeb przeprowadzenia obliczeń metodą krigingu (sporządzenia map izolinii, szacowania zasobów). Funkcje te dopasowano sposobem graficznym.

Wariogramy umożliwiły ustalenie charakteru zmienności badanych cech złoża, określenie zasięgu skorelowania obserwacji, udziału w obserwowanej zmienności składnika losowego i nielosowego. Na ich podstawie możliwe było podejmowanie decyzji co do celowości sporządzania map izolinii parametrów. Mapy takie opracowano dla parametrów złoża charakteryzujących się nielosowym zróżnicowaniem (miąższości warstwy złożowej, wartości N : Z, spągu złoża, punktu piaskowego). Odstępiono na przykład od wykonania mapy stropu złoża ze względu na losowy charakter jego zmienności (ryc. 1). Do konstrukcji map izolinii zastosowano procedurę krigingu punktowego (ryc. 2). Metoda ta pozwala na dokładniejszą interpolację izolinii, dzięki przypisaniu punktom rozpoznawczym wag zależnych od odległości



Ryc. 2. Mapa miąższości warstwy złożowej (uproszczona)

1 – otwory rozpoznawcze, w których stwierdzono warstwę złożową (kruszywa grubego), 2 – otwory rozpoznawcze płonne, 3 – izolinie miąższości wyinterpolowane metodą krigingu punktowego

Fig. 2. Map of deposit thickness (simplified). Point kriging interpolation

1 – boreholes drilled through the deposit (of coarse aggregate), 2 – barren boreholes, 3 – isolines of deposit thickness (point kriging interpolation)

między nimi, podającej stopień skorelowania sąsiednich obserwacji (określony przez wariogram) (2).

Na podstawie mapy izolinii parametrów złożowych zinterpretowano przebieg granic złoża. Granicę jego zaniku, traktowaną jako kontur zewnętrzny, poprowadzono między otworami pozytywnymi i negatywnymi wzdłuż dopuszczalnych przez kryteria bilansowości wartości parametrów złożowych (miąższości, wartości N : Z, punktu piaskowego).

Zasoby kopaliny obliczono sumując zasoby poszczególnych bloków obliczeniowych (ryc. 3). W każdym bloku obliczono zasoby na podstawie szacowanych średnich ważonych wartości podstawowych parametrów złoża (zasobności lub miąższości złoża), określonych procedurą krigingu blokowego.

W polu wewnętrznym zasoby w każdym bloku obliczono ze wzoru:

$$Q = F \cdot \bar{q}_k$$

gdzie:

Q – zasoby kruszywa naturalnego w t,

F – powierzchnia bloku,

\bar{q}_k – średnia zasobność złoża w bloku, określona procedurą krigingu.

Zasoby złoża w pojedynczych blokach pola zewnętrznego wyliczono zgodnie ze wzorem:

$$Q = F \cdot \bar{m}_k \cdot \gamma$$

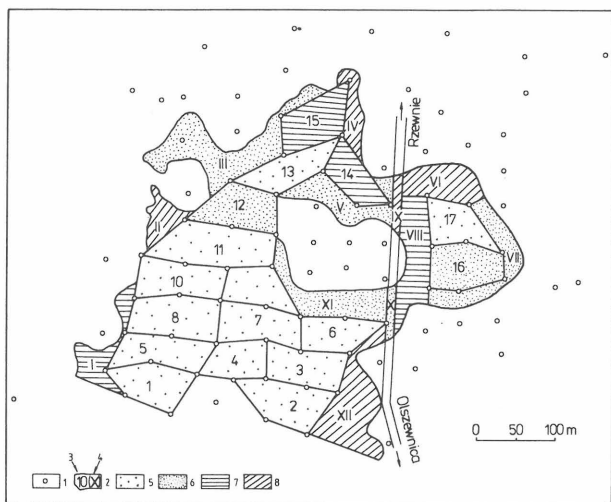
gdzie:

γ – średnia arytmetyczna gęstość nasypowa, wyliczona dla całego złoża,

\bar{m}_k – średnia miąższość złoża w bloku, wyliczona procedurą krigingu,

F – powierzchnia bloku.

Metoda ta umożliwia oszacowanie wielkości zasobów



Ryc. 3. Mapa obliczenia zasobów metodą kriginu przy podziale złoża na bloki (mapa uproszczona)

1 – otwór rozpoznawczy, 2 – kontur bloku obliczeniowego zasobów wraz z numerem, 3 – numer bloku usytuowanego w polu wewnętrznym, 4 – numer bloku usytuowanego w polu zewnętrznym, 5–8 – dokładność oszacowania zasobów: 5 – 10–20%, 6 – 20–30%, 7 – 30–40%, 8 – >40%

Fig. 3. Map of deposit reserves. Block kriging estimation

1 – exploratory boreholes, 2 – contours of estimated blocks with the block number, 3 – number of block situated within internal area, 4 – number of block situated within external area, 5–8 – relative kriging error of reserve estimation respectively: 5 – 10–20%, 6 – 20–30%, 7 – 30–40%, 8 – over 40%

z minimalnym błędem oraz określenie dokładności ich oceny w każdym bloku obliczeniowym (ryc. 3).

Powierzchnie bloków określono metodą analityczną na podstawie współrzędnych punktów konturowych. Ze względu na skorelowanie obserwacji, przy ocenie parametru w bloku uwzględniono dane z otworów leżących w jego obrębie i usytuowanych w bliskim jego sąsiedztwie (w odległości nie przekraczającej obserwowanego na wariogramach zasięgu skorelowania obserwacji).

Za miarę dokładności oceny zasobów w pojedynczym bloku (E_Q) przyjęto błąd oszacowania podstawowego parametru uwzględnianego przy obliczaniu zasobów (5):

$$E_Q = \frac{2\sigma_k}{\bar{z}_k} \cdot 100\%$$

gdzie:

$2\sigma_k$ – maksymalny prawdopodobny błąd oszacowania średniej miąższości lub zasobności złoża, wyliczony procedurą kriginu,

\bar{z}_k – średnia miąższość lub zasobność w bloku, ustalona procedurą kriginu.

Pominięto wpływ błędu oceny średniej gęstości nasypowej, a także pomiaru powierzchni parcel, ze względu na to, iż są one zanedbywalnie małe, znacznie mniejsze od błędu oceny pozostałych parametrów złoża.

Dysponując informacją o charakterze zmienności parametrów złożowych, możliwy był wybór optymalnej metody obliczenia nadkładu. W związku z losowym charakterem zmienności miąższości nadkładu (ryc. 1) do obliczenia jego kubatury zastosowano metodę średniej arytmetycznej.

UWAGI KOŃCOWE

Uzyskane wyniki wskazują na celowość stosowania metod matematycznych (statystycznych i geostatystycznych)

nych) przy dokumentowaniu złóż. Zastosowanie ich w niniejszej dokumentacji pozwoliło między innymi na:

- ujednoczenie opisu zróżnicowania wartości parametrów złoża oraz przedstawienie zbiorcze informacji o zmienności złoża w formie histogramów i tabel,
- pozyskanie dokładniejszych informacji o zmienności złoża (strukturze zmienności parametrów, zasięgu skorelowania obserwacji, tj. odległości, w granicach której możliwe jest interpolowanie wyników obserwacji),
- możliwość podejmowania decyzji co do celowości wykonywania map izolinii parametrów złoża,
- sporządzenie map izolinii parametrów w sposób zautomatyzowany, techniką kriginu,
- obliczenie zasobów kopaliny procedurą kriginu, zapewniającą minimalizację błędu oceny,
- ocenę dokładności oszacowania całkowitych zasobów złoża, a także zasobów i średnich wartości parametrów złoża w pojedynczych blokach.

Niewątpliwą zaletą metod geostatystycznych jest możliwość określania wielkości błędu oszacowania zasobów kopaliny w wydzielonych blokach złoża. Stwarza to możliwość oparcia klasyfikacji zasobów na miarach dokładności ich rozpoznania (8). Zastosowanie techniki komputerowej stwarza również szanse zmniejszenia pracochłonności niektórych czynności na etapie prac karnalnych i obliczeniowych.

Efektywne stosowanie metod geostatystycznych przy dokumentowaniu złóż możliwe jest przy dysponowaniu odpowiednim sprzętem i oprogramowaniem. Wymogi czasowe realizacji prac dokumentacyjnych nakładają do stosowania szybkich w obliczeniach maszyn, a także do tworzenia pakietów programów, pozwalających na realizację wielu czynności obliczeniowych po jednorazowym wprowadzeniu danych podstawowych (tu współrzędnych otworów i wartości parametrów złoża w tych otworach). Oprogramowanie winno być przy tym dostosowane do wymogów prac dokumentacyjnych. Dotyczy to przede wszystkim wykonania map izolinii parametrów złożowych. Jeśli załącza się te mapy do dokumentacji, powinny one być sporządzane według obowiązujących norm (zgodnie z PN – Mapy Górnicze).

L I T E R A T U R A

1. Andrzejak Z. – Dokumentacja geologiczna w kat. C₁ z rozpoznaniem jakości kopaliny w kat. B kruszywa naturalnego Rzewnie. Arch. PG Warszawa, 1987.
2. David M. – Geostatistical ore reserve estimation. Elsevier Publ. Amsterdam, Oxford, New York, 1977.
3. Dolik M., Kokesz Z., Rolewicz J. – Dokumentacja geologiczna w kat. C₁ z rozpoznaniem jakości kopaliny w kat. B kruszywa naturalnego Rzewnie. Arch. MOŚiZN Warszawa, 1989.
4. Gientka M. – Propozycja zmian metodyki badań wodnolodowcowych złóż kruszywa naturalnego w Polsce. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa, 1988.
5. Kokesz Z. – Obliczanie zasobów metodą kriginu. Mat. Sem. nt. Metod. Rozpozn. i Dok. Złóż Kopalin Stałych, AGH Bieruń, 1988.
6. Musiał T. – Tech. Poszuk., 1966 nr 18 s. 9–14.
7. Nieć M., Kokesz Z., Gientka M. – Zastosowanie metod geostatystycznych do badań złóż kruszywa naturalnego. Arch. CPPGSMiE PAN Kraków, 1987.

8. Nieć M. — Klasyfikacja zasobów w ujęciu ilościowym. Mat. Sem. nt. Metod. Rozpozn. i Dok. Złóż Kopalni Siatych, AGH Bierutowice, 1988.

S U M M A R Y

Computers allow to improve elaboration of results of deposit exploration presented in geological documentation of the deposit. Especially statistical and geostatistical methods of data elaboration can be introduced to it. These methods were applied for description of parameters variations of natural aggregate deposit at Rzewnie. They allow to apply kriging for mapping the deposit parameters (preparation of isoline maps), delimitation of deposit contours and reserve estimation. The own software for IBM XT/PC was used.

Geostatistic methods allow to evaluate relative error of reserve estimation in particular blocks of the deposit. It is the most valuable achievement of kriging application to reserve calculations and it makes possible reserve categorization based on quantitative measures of their estimation accuracy.

Translated by authors

Р Е З Ю М Е

Компьютерная техника делает возможным применение в документировочных работах эффективных методов анализа результатов разведки месторождения. С целью внедрения новых методов в практику документирования была разработана модельная геологическая документация месторождения природного шельфа „Жевне”. В работе были использованные статистические и геостатистические методы для описания изменчивости месторождения, а также метод крайгинга для интерпретации границ месторождения и оценки его запасов. Все расчеты, вместе с печатанием карт изолиний параметров подсчета запасов, были проведены по собственным программам на микрокомпьютере IBM/XT.

В статье представлены результаты применения статистических и геостатистических методов оценки месторождения. Обращено внимание на выгоды применения этих методов документирования месторождений. Основным преимуществом геостатистических методов является возможность определения величины погрешности оценки запасов ископаемого в выделенных блоках месторождения. Это делает возможным основание классификации запасов на мерах точности их разведки.