



dr inż. Jacek  
MUCHA \*



prof. dr hab. inż.  
Tadeusz SŁOMKA\*



dr inż. Wojciech  
MASTEJ\*



mgr inż. Tomasz  
BARTUŚ\*



mgr inż. Waldemar  
JOŃCZYK\*\*



mgr Ryszard  
FRANKOWSKI\*\*

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\*Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” S.A., Rogowiec

# Modelowanie zmienności i dokładność oszacowania parametrów jakościowych złoża węgla brunatnego Bełchatów (pole Bełchatów)

## STRESZCZENIE

W oparciu o dane otworowe, określono zmienność zawartości popiołu ( $A_r$ ), siarki ( $S_r$ ), wilgoci ( $W_{tr}$ ) i wartości opałowej ( $Q_{ir}$ ) we wschodniej części złoża węgla brunatnego Bełchatów (pole Bełchatów). Parametry  $A_r$  i  $S_r$  są bardziej zmienne niż dwa pozostałe, a w ich zmienności widać wyraźną nielosowość i anizotropię, podczas gdy zmienność  $W_{tr}$  i  $Q_{ir}$  jest głównie losowa i izotropowa. Określenie struktury zmienności umożliwiło ocenę błędów oszacowań parametrów w blokach i punktach złoża. Stwierdzono zadowalającą dokładność szacowania parametrów w dużych blokach (400x1200 m) i niewystarczającą w małych blokach (60x120m) oraz w punktach złoża. Osiągnięcie właściwej dokładności szacowania w małych blokach będzie możliwe przez dodatkowe uwzględnienie prób brzdowych, pobieranych ze ścian wyrobisk.

## 1. Wstęp

Celem badań prezentowanych w niniejszej pracy było określenie modeli zmienności dla ważnych, z punktu widzenia praktyki geologiczno-górnicznej, parametrów jakościowych węgla brunatnego: zawartości popiołu ( $A_r$ ), siarki ( $S_r$ ), wilgoci ( $W_{tr}$ ) i wartości opałowej ( $Q_{ir}$ ) w stanie roboczym. Modele te posłużyły następnie do oceny błędów oszacowania średnich wartości tych parametrów w blokach i w punktach złoża. Ocena tych błędów w blokach złoża ma fundamentalne znaczenie w strategii eksploatacji kopaliny, natomiast ocena w punktach determinuje wiarygodność izoliniowych map parametrów jakościowych.

W badaniach posłużono się metodą geostatystyczną, stosowaną standardowo do oceny złóż.

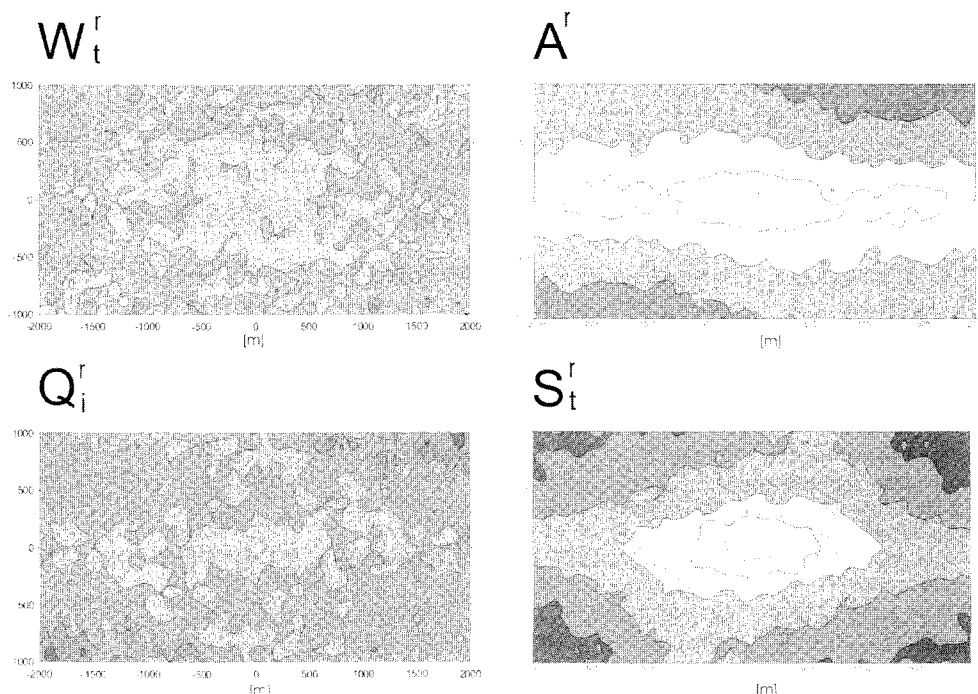
## 2. Materiał badawczy i metoda

Źródłem informacji o polu złożowym Bełchatów były dane z otworów wiertniczych. Przeciętna odległość między otworami w części wschodniej pola wynosi około 90 m, a w części zachodniej około 140 m. Dla każdego otworu obliczono średnie wartości parametrów, ważone miąższością warstw w otworze. W obliczeniach uwzględniano warstwy z kompleksu węglowego, za wyjątkiem przerostów skał płonnych.

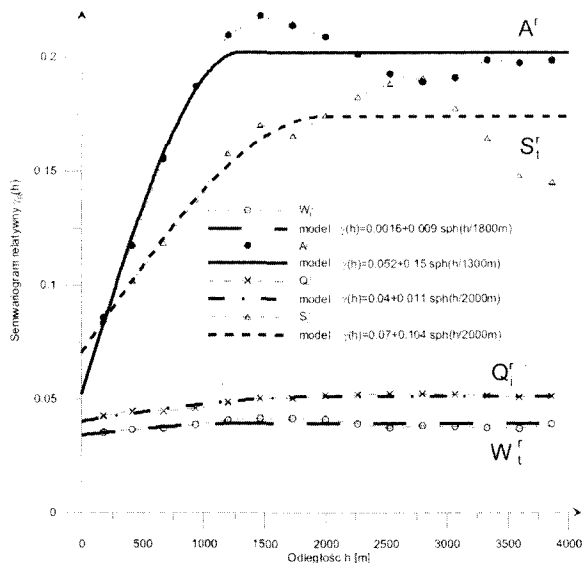
Strukturę zmienności parametrów jakościowych przeanalizowano metodą geostatystyczną Matherona (1962 - 1963), której zasady przedstawiono w wielu opracowaniach książkowych i publikacjach (np. Journel i Huijbregts 1978; Isaaks i Srivastava 1989; Mucha 1994). Opis struktury zmienności stanowił podstawę oceny błędów szacowania wartości parametrów przy zastosowaniu procedury krigingu, która uwzględnia położenie otworów oraz kształt i formę bloku obliczeniowego.

## 3. Wyniki badań i wnioski

Wśród czterech rozpatrywanych parametrów opisujących jakość kopaliny w badanej części złoża węgla brunatnego Bełchatów (pole Bełchatów), wyróżniono dwie grupy parametrów, różniące się intensywnością i strukturą zmienności. Do pierwszej grupy zaliczono



Rys. 3.1. Mapy izoliniowe wartości semiwariogramów



**Rys. 3.2. Semiwariogramy relatywne, izotropowe zmienności poziomej parametrów jakościowych węgla i ich modele teoretyczne; osi rzędnych: średnie, relatywne zróżnicowanie wartości parametrów, osi odciętych: średnia odległość między otworami**

Ar i Str cechujące się większą zmiennością (współczynniki zmienności około 40%), wyraźnymi prawidłowościami zmian i anizotropowym charakterem zróżnicowania wartości w przestrzeni złożowej (rys. 3.1). Do drugiej grupy należą natomiast Qir i Wtr charakteryzujące się mniejszą zmiennością (współczynniki zmienności około 20%), losowym, lub zbliżonym do losowego, zróżnicowaniem oraz izotropową strukturą zmienności w złożu. O globalnym rozpoznaniu jakości kopaliny winna decydować dokładność szacowania najbardziej zmiennych parametrów - zawartości popiołu i siarki.

Geostatystyczną strukturę zmienności parametrów jakościowych wyrażają tzw. modele sferyczne (rys. 3.2). Badane parametry można uszeregować zgodnie z malejącym udziałem nielosowego składnika zmienności (określającego prawidłowości ich zmian) w następującej kolejności: Ar (74%), Str (60%), Qir (20%) i Wtr (13%). Zestawienie to pozwala stwierdzić, że efektywność geostatystycznej procedury krigingu jest najwyższa przy szacowaniu średnich wartości i zasobów Ar i Str, natomiast szacowanie średnich wartości Qir i Wtr

może być wykonywane efektywnie przy wykorzystaniu statystyki klasycznej.

Szacowanie średnich wartości parametrów jakościowych w dużych blokach obliczeniowych, odpowiadających partiom złoża o wielkości porównywalnej z obszarem rocznej eksploatacji złoża (powierzchnia około 0,5 km<sup>2</sup>), oparte na wynikach rozpoznania wiertniczego, cechuje się wysoką dokładnością, ze średnimi błędami standardowymi najbardziej zmiennych parametrów (Ar i Str) rzędu 5% (tab. 3.1). Dostatecznej dokładności nie zapewnia natomiast podobne szacowanie dla przygotowywanych do eksploatacji małych partii złoża (powierzchnia około 0,7 ha), dla których średnie błędy standardowe oszacowania średniej zawartości popiołu i siarki wynoszą około 15%. Zwiększenie dokładności szacowania w tym przypadku będzie możliwe przez uwzględnienie w procedurze szacowania danych pochodzących z opróbowania bruzdowego ścian eksploatacyjnych. Skuteczność takiego postępowania wymaga jednak przeanalizowania wielu wariantów rozmieszczenia miejsc opróbowania i ilości pobieranych prób bruzdowych.

Prognozowanie zawartości popiołu i siarki w punktach złoża obarczone jest poważnym błędem interpolacji rzędu 35% (tab. 3.1), co stawia pod znakiem zapytania celowość ilustrowania rozmieszczenia tych parametrów za pomocą map izolinowych. W przypadku wartości opalowej i zawartości wilgoci standardowe błędy interpolacji są wyraźnie mniejsze (rzędu 20%), zatem wiarygodność map izolinowych dla tych parametrów jest możliwa do zaakceptowania.

**Tabela 3.1. Błędy względne standardowe [%] oceny średnich wartości parametrów jakościowych w blokach obliczeniowych o różnej wielkości i węzłach sieci interpolacyjnej w polu Bełchatów**

Blok obliczeniowy Block for mean parameter estimation [m]	Zawartość popiołu Ash content		Zawartość siarki Sulphur content		Wartość opalowa Calorific value		Zawartość wilgoci Moisture	
	W	E	W	E	W	E	W	E
400x1200	6.5 (5-8)	4.5 (4-5)	5.8 (5-7)	4.3 (3-5)	4.8 (4-6)	2.8 (2-4)	4.4 (4-6)	2.5 (2-3)
400x1200	6.9* (6-8)*	4.8* (4-6)*	5.5* (4-7)*	3.8* (3-5)*	no	no	no	no
Węzły siatki interpolacyjnej: 100x100 Interpolation grid nodes: 100x100	35.9 (33-39)	34.6 (33-39)	36.1 (34-38)	34.9 (34-38)	22.8 (21-29)	21.4 (20-24)	20.7 (19-27)	19.3 (18-22)

\* obliczenia wykonane dla anizotropowego modelu zmienności, no - nie obliczono; W, E - odpowiednio: zachodnia i wschodnia część pola Bełchatów; ( ) - zakres zmienności błędów

#### Podziękowania

Praca została wykonana w ramach badań statutowych Zakładu Geologii Ogólnej i Matematycznej oraz Katedry Geologii Kopalnianej AGH.

#### Literatura

- [1] Isaaks E. H., Srivastava R. M. 1989: An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561.
- [2] Journel A. C., Huijbregts Ch. J. 1978: Mining Geostatistics. Academic Press., London, 600.
- [3] Matheron G. 1962 - 1963: Traité de géostatistique appliquée. T. 1 (1962), 334, T.2 (1963), 172, Editions Technip, Paris.
- [4] Mucha J. 1994: Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. Skrypt, Katedra Geologii Kopalnianej, AGH, Kraków, 155.

## Geostatistical modelling and estimation of qualitative parameters of the Bełchatów lignite deposit

The character of variability of ash content (Ar), sulphur content (Str), moisture (Wtr) and calorific value (Qir) in the eastern part of the Bełchatów lignite deposit (the Bełchatów field) was described geostatistically basing on the results of the borehole sampling. The Ar and Str contents are more variable than the two remaining ones and show distinct non-randomness and anisotropy while the variability of the Wtr and Qir are mainly random and isotropic. Geostatistical models of variability structure were used for assessment of errors of mean values parameters estimation in mining blocks and points of deposit. It was found satisfactory accuracy of mean parameters estimation in the great blocks (400x1200 m) and unsatisfactory in the small ones (60x120m) as well as in the points. In the case of small blocks there is possible to increase the accuracy of estimation by taking into account the channel samples taken from excavation walls.