

Jacek MUCHA*, Tadeusz SŁOMKA*, Wojciech MASTEJ*, Tomasz BARTUŚ*,
Marek Waldemar JONCZYK**, Ryszard FRANKOWSKI**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

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

Modelowanie zmienności i dokładność oszacowania jakości węgla brunatnego w złożu Bełchatów (pole Bełchatów)

Streszczenie

Stosując metodę statystyczną i geostatystyczną, określono zmienność wybranych parametrów charakteryzujących jakość złoża węgla brunatnego: zawartości popiołu (A^f), siarki (S_1^f), wilgoci (W_1^f) i wartości opałowej (Q_1^f) we wschodniej części złoża węgla brunatnego Bełchatów (fragment pola Bełchatów). Obliczeń dokonano w oparciu o dane otworowe. Stwierdzono odmienne struktury zmienności parametrów A^f i S_1^f w porównaniu ze strukturami zmienności W_1^f i Q_1^f . Parametry A^f i S_1^f charakteryzują się większą zmiennością niż dwa pozostałe. Ponadto, w ich zmienności uwidacznia się nielosowość i anizotropia, podczas gdy zmienność W_1^f i Q_1^f jest głównie losowa i izotropowa. Określenie postaci geostatystycznych modeli zmienności parametrów umożliwiło zastosowanie geostatystycznej procedury krigingu do oceny wielkości błędów oszacowań parametrów w blokach złoża. Stwierdzono zadowalającą dokładność szacowania parametrów w dużych blokach (400x1200 m) i niewystarczającą w małych blokach (60x120m). Osiągnięcie właściwej wiarygodności szacowania w małych blokach wymaga poszerzenia zbioru danych podstawowych o dane uzyskane z prób bruzdowych, pobieranych ze ścian wyrobisk.

1. Wstęp

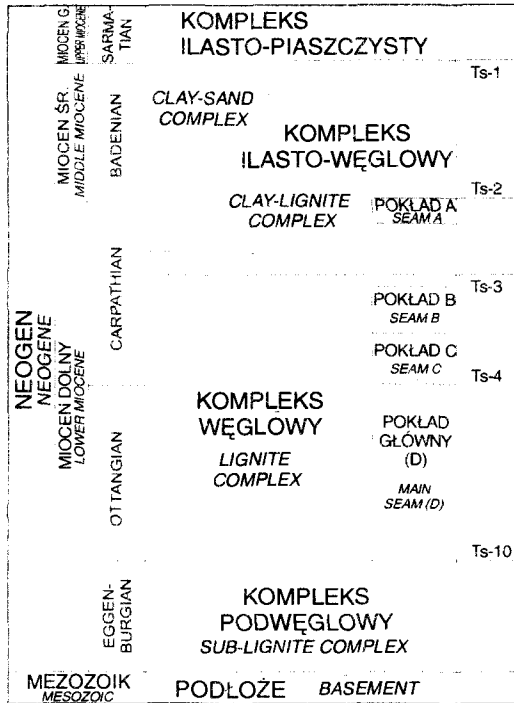
Celem badań prezentowanych w niniejszej pracy było określenie modeli (struktur) zmienności dla ważnych, z punktu widzenia praktyki geologiczno-górnicznej, parametrów jakości węgla brunatnego: zawartości popiołu (A^f), siarki (S_1^f), wilgoci (W_1^f) i wartości opałowej (Q_1^f) w stanie roboczym. Modele te posłużyły następnie do oceny błędów oszacowania średnich wartości tych parametrów w blokach, co ma ważne znaczenie w planowaniu strategii eksploatacji kopaliny.

Obok klasycznego podejścia statystycznego, w badaniach posłużono się metodą geostatystyczną, która oferuje znacznie większe możliwości dogłębnego rozpoznania i opisu charakteru zmienności badanych parametrów. Ma ona od lat ugruntowaną pozycję, zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznej. Próby zastosowania metody geostatystycznej do określenia struktury zmienności parametrów opisujących jakość węgla brunatnego w złożu Bełchatów były już przeprowadzane wcześniej (Borowicz i in. 1996 – badania wykonano na polu Szczerców). Niniejsza praca powstała w oparciu o niepublikowane badania Słomki i in. (2002).

Obliczenia przeprowadzono w oparciu o dane z otworów wiertniczych, wykonanych w polu złożowym Bełchatów (wschodnia część złoża bełchatowskiego), z pominięciem jego wschodniej, wyeksploatowanej części.

2. Pozycja geologiczna złoża

Złoże bełchatowskie jest jednym z największych spośród złóż węgla brunatnego w Polsce. Pokłady węgla znajdują się w miocেনskich osadach ilasto-mułkowo-piaszczystych, wypełniających rów Kleszczowa. Skąły te podzielono na tzw. kompleksy, mające status ogniwi litostratygraficznych. W kompleksie węglowym (rys. 2.1), wydzielony został pokład główny (D), mający największe znaczenie gospodarcze oraz nadległe pokłady C i B. Pokłady te osiagają na polu Bełchatów łączną miąższość rzędu 60 m (Matl 2000). W części wschodniej pola są one rozdzielone, a w części zachodniej złączone. Osady miocенskie spoczywają bezpośrednio na mezozoicznym podłożu (jura, kreda) lub na paleogeńskiej zwietrzelinie.



Rys. 2.1. Profil litostratygraficzny osadów trzeciorzędowych w rejonie Bełchatów (według Czarneckiego i in. 1992; Matl 2000); Ts – paratonsteiny

Fig. 2.1. Lithostratigraphic division of the Tertiary strata in the Bełchatów region (after Czarnecki et al. 1992; Matl 2000); Ts – paratonsteins

3. Materiał badawczy

Głównymi źródłami informacji o polu złożowym Bełchatów były dane z otworów wiertniczych, zapisane w kopalnianej bazie danych. Badaniom poddano pokład główny (D) we fragmencie wschodniej części pola złożowego Bełchatów i cały kompleks węglowy w części zachodniej pola (Słomka i in. 2002). Stało się tak, ponieważ w części zachodniej pola, pokład D zrasta się z wyżejjęgłymi pokładami (B i C), czego konsekwencją jest niemożność rozdzielania tych pokładów w kopalnianej bazie danych. Dlatego w dalszej części niniejszej pracy, na oznaczenie pokładu D lub B+C+D stosowany będzie termin „pokład węgla”.

Wykorzystano przede wszystkim otwory złożowe dokumentacyjne i zagęszczające sieć rozpoznawczą, a podrzędnie – otwory hydrogeologiczne i otwory typu „pilot” z bariery, łącznie 1157 otworów (rys. 3.1). Otwory są rozmieszczone nieregularnie, jako rezultat dwóch nakładających się faz rozpoznania pola. Z tego powodu, przeciętna odległość między otworami w części wschodniej obszaru badań wynosi około 90 m, a w części zachodniej około 140 m. Rdzenie wiertnicze z każdego otworu, w odcinkach o długości około 3 m, były opróbowywane w celu oznaczenia wyszczególnionych we wstępie, czterech podstawowych parametrów jakości węgla.

W podstawowym wariancie badań (wariant A), uwzględniano tylko te warstwy, które leżały wewnątrz granic pokładu węgla. Z obliczeń eliminowano przerosty skał płonnych, jeśli ich miąższość przekraczała 1,5 m. Wyjątkiem były przerosty wapieni jeziornych, które odrzucano bez względu na miąższość.

W drugim wariancie obliczeń (wariant B), uwzględniano tylko warstwy, które znalazły się w przystropowej części pokładu węgla, w tzw. plastrze górnym (PLG), o miąższości 20 m. Miąższość tego plastra nawiązuje do wysokości piętra eksploatacyjnego. Powodem szczególnej analizy plastra górnego była jego największa zmienność (ze względu na badane parametry) w stosunku do plasterów położonych niżej (Słomka i in. 2002).

Końcowym etapem przygotowania danych, było obliczenie dla każdego otworu, średnich wartości parametrów, ważonych miąższością uwzględnionych w otworze warstw.

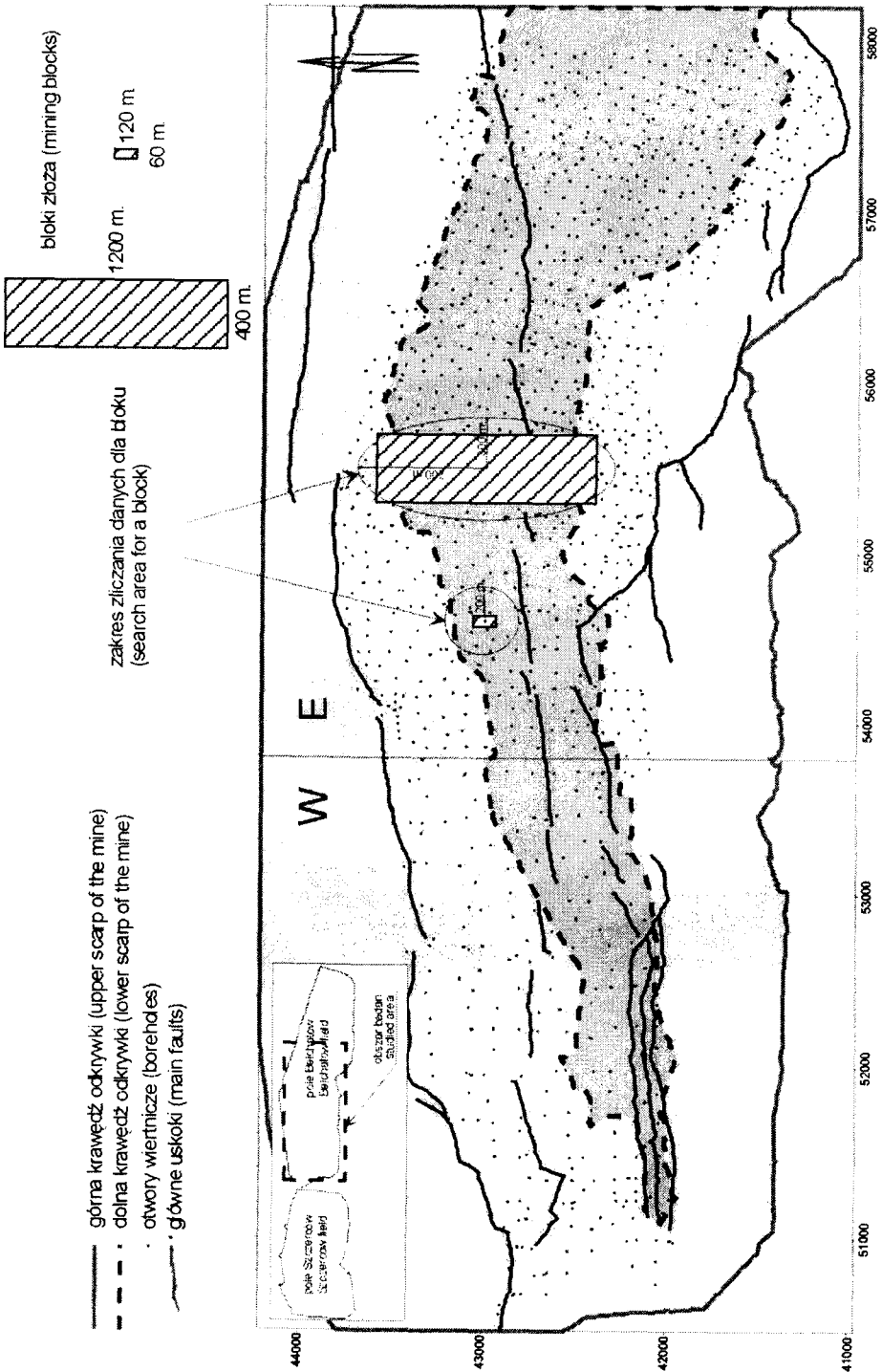
4. Metodyka badań

Zgromadzone zbiory danych opracowano w pierwszej kolejności za pomocą klasycznych metod statystycznych. Badane parametry zostały potraktowane jako zmienne losowe, które posiadają swoje rozkłady prawdopodobieństwa. Rozkłady empiryczne przedstawiano w formie histogramów oraz opisano syntetycznie, za pomocą parametrów liczbowych. Ze względu na cel niniejszej pracy, za podstawowy parametr charakteryzujący zmienność przyjęto współczynnik zmienności (iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej). Ponadto obliczono współczynnik asymetrii, będący miarą odchyłki od symetrycznego rozkładu normalnego.

Strukturę zmienności wartości badanych parametrów 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). Pomierzone w otworach parametry jakości złoża węgla potraktowano tutaj jako tzw. zmienne losowe zregionalizowane, których wartości są rozmieszczone w przestrzeni dwuwymiarowej z przypisanymi im współrzędnymi otworów. Metodę geostatystyczną można efektywnie stosować wtedy, gdy do pewnej odległości, zwanej promieniem autokorelacji, wartości zmiennej zregionalizowanej są ze sobą skorelowane. Geostatystyczna ocena wartości parametrów złożowych jest łatwa, gdy ich rozkłady prawdopodobieństwa są jednomodalne, symetryczne lub o małej asymetrii, zaś zbiory danych podstawowych nie zawierają obserwacji anomalnych (wartości parametrów wielokrotnie przewyższających wartości średnie).

W ramach metody geostatystycznej, zmienność opisuje się za pomocą tzw. semiwariogramów, które ujmują zależność między zróżnicowaniem badanego parametru geologicznego (wyrażonym średnim kwadratem różnic) i średnią odległością między punktami jego pomiaru (np. otworami wiertniczymi).

W przeprowadzonych badaniach zastosowano semiwariogramy relatywne (odpowiedniki współczynników zmienności w klasycznej statystyce), które ujmują wielkość zróżnicowania wartości parametrów geologicznych odniesioną do ich wartości średnich.



Rys. 3.1. Rozmieszczenie otworów w badanej części pola Betchatów (stan: listopad 2002 r.) i przykłady bloków dla oceny średnich wartości parametrów
 Fig. 3.1. Distribution of boreholes in the studied part of the Betchatów mining field (stage: November, 2002) and examples of estimation blocks

Dodatkowo dla przeanalizowania intensywności zmian badanych parametrów w różnych kierunkach złoża, określono postacie semiwariogramów kierunkowych. Przy konstruowaniu tych semiwariogramów, uwzględnia się tylko te pary miejsc opróbowania, dla których odcinki je łączące leżą w pewnym wybranym kierunku, z zadaną tolerancją. Postępowanie takie umożliwia poznanie kierunkowej zmienności parametrów i rozstrzygnięcie czy zmienność ma charakter izotropowy czy anizotropowy, co może mieć istotne implikacje w praktyce geologiczno-górnicznej. Podsumowanie najważniejszych informacji o strukturze zmienności parametrów geologicznych zawierają geostatystyczne modele zmienności (semiwariogramy teoretyczne) będące przybliżeniem semiwariogramów za pomocą ciągłych funkcji analitycznych.

Wartość semiwariogramu teoretycznego dla odległości bliskiej zeru opisuje zmienność lokalną parametru (C_0). W ogromnej większości przypadków semiwariogramy parametrów geologicznych cechuje tendencja wzrostowa, aż do osiągnięcia wartości $C_0 + C$ w odległości równej promieniowi autokorelacji parametru. Parametr modelu C , związany ze wzrostem wartości semiwariogramu, jest miarą wielkości zmienności nielosowej.

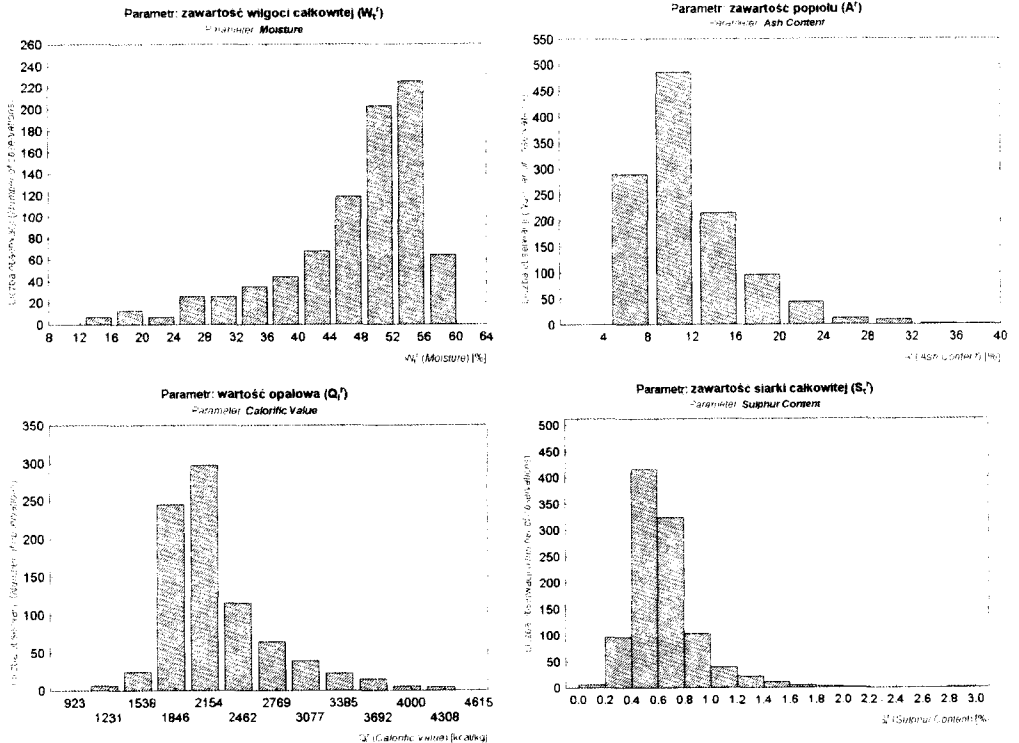
Odpowiednio dobrane modele zmienności stanowią podstawę geostatystycznej procedury krigingu, prowadzącej do najdokładniejszego, na tle innych metod, oszacowania wartości parametrów geologicznych w blokach obliczeniowych. W procedurze krigingu, oszacowanie wartości parametrów dokonuje się za pomocą średniej ważonej. Specyfika tej procedury polega na sposobie określania współczynników wagowych, których wartości zależą od modelu zmienności ocenianych parametrów złożowych, wzajemnego położenia punktów opróbowania i lokalizacji tych punktów względem bloku obliczeniowego.

Z punktu widzenia niniejszej pracy, największe znaczenie miało zastosowanie krigingu do oceny błędów szacowania wartości parametrów. Uwzględnienie w tej procedurze relatywnych modeli zmienności prowadzi bezpośrednio do otrzymania relatywnych standardowych błędów oszacowań, związanych z poziomem prawdopodobieństwa $P = 68\%$. Oznacza to, że przy założeniu normalności rozkładu błędów, różnica między prawdziwą i oszacowaną wartością parametru nie przekroczy w 68 przypadkach na 100 wyliczonej metodą krigingu wartości błędu standardowego. W Zasadach dokumentowania złóż kopalin stałych (Nieć 2002) przyjmuje się poziom prawdopodobieństwa najczęściej stosowany w praktyce geologiczno-górnicznej równy 95%. Odpowiadający mu błąd, otrzymywany (w przybliżeniu) przez podwojenie błędu standardowego, stanowi kryterium ilościowe kwalifikowania stopnia dwojenie rozpoznania zasobów i parametrów złożowych do kategorii: A, B, C_1 , lub C_2 .

5. Charakterystyka zmienności i geostatystyczne modele parametrów jakościowych

W pierwszej kolejności przebadano zmienność parametrów jakościowych w obrębie całego pokładu węgla (wariant A) na badanej części pola Bełchatów. Rozkłady prawdopodobieństwa parametrów S_i^f i A_i^f i Q_i^f są jednomodalne (jedno maksimum), z silną dominacją klas modalnych (w pobliżu maksimum) i wyraźnie asymetryczne dodatnio, ze współczynnikami asymetrii z przedziału: 1,5 – 2,2 (rys. 5.1, tab. 5.1). Zawartość wilgoci cechuje również rozkład jednomodalny, lecz asymetryczny ujemnie, ze współczynnikiem asymetrii – 1,4 (tab. 5.1). Ze względu na jednomodalność rozkładów, pomimo ich wyraźnej asymetrii, można oczekiwać łatwości modelowania geostatystycznego zmienności parametrów.

Wartości współczynników zmienności rozpatrywanych parametrów jakościowych, są wyraźnie zróżnicowane (tab. 5.1). Zmienność A_i^f i S_i^f (około 40%), jest około dwukrotnie większa niż zmienność Q_i^f i W_i^f (około 20%). Te dwa pierwsze parametry, jako najbardziej zmienne, będą więc decydować o dokładności szacowania jakości kopaliny w polu Bełchatów.



Rys. 5.1. Histogramy wartości badanych parametrów jakości węgla brunatnego (wariant A)
 Fig. 5.1. Histograms of the lignite quality parameters (variant A)

Obraz struktury zmienności rozpatrywanych parametrów jakościowych, zilustrowany za pomocą semiwariogramów relatywnych i ich modeli teoretycznych (rys. 5.2), potwierdza ujawnione metodą statystyczną różnice w intensywności zmienności i dodatkowo pokazuje odmienny jej charakter. Dwa najbardziej zmienne parametry: A^t i S_t^t cechuje silny wzrost zróżnicowania wartości ze wzrostem odległości między punktami opróbowań. Oznacza to występowanie w całkowitej, obserwowanej zmienności tych parametrów, silnie zaznaczonego składnika nielosowego zmienności, wyrażającego prawidłowości zmian w przestrzeni złożowej. Semiwariogramy Q_t^t i W_t^t zachowują się inaczej - wzrost zróżnicowania ich wartości wraz odległością jest niewielki, co dowodzi dominacji losowego składnika zmienności oraz świadczy o przypadkowych i nieuporządkowanych zmianach wartości tych parametrów w złożu.

Zasięgi wzrostu wartości semiwariogramów, tożsame z zasięgami autokorelacji parametru, wynoszą od 1300 do 2000 m. Geostatystycznym modelem zmienności wszystkich badanych parametrów może być tzw. model sferyczny, którego równania (różne dla poszczególnych parametrów jakości węgla) podano na rysunku 5.2. Ustalenie postaci modelu umożliwiło ilościowe oszacowanie maksymalnego udziału składnika nielosowego zmienności w zmienności całkowitej ze wzoru: $U_N = [C/(C_0+C)]*100\%$. Wynosi on odpowiednio: 74% dla A^t , 60% dla S_t^t , 20% dla Q_t^t i 13% dla W_t^t (dopełnienie do 100% to udział składnika losowego w zmienności całkowitej $U_L = [C_0/(C_0+C)]*100$). Podane wartości wskazują, że w praktyce zmienność parametrów Q_t^t i W_t^t może być traktowana jako losowa, dlatego do szacowania ich średnich wartości może być stosowana klasyczna metoda statystyczna.

Tabela 5.1.

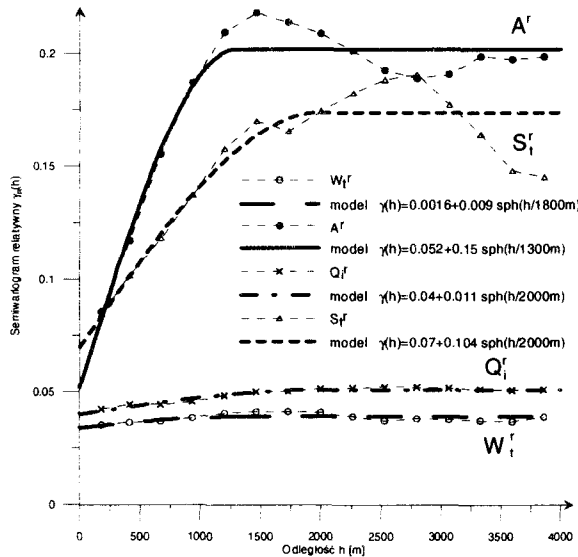
Statystyki opisowe zmienności parametrów technologicznych węgla w pokładzie węgla (wariant A) i górnym plasterze (wariant B)

Table 5.1.

Descriptive statistics of variability of the lignite quality parameters in the lignite seam (variant A) and in the upper slice (variant B)

Parametr Parameter	Liczba Number of boreholes	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Współczynnik zmienności Variation coefficient	Współczynnik asymetrii Assymetry coefficient
W _t ^r (PW) [%]	838	13,1	58,4	20%	-1,40
A ^r (PW) [%]	1157	4,2	36,2	42%	1,48
Q _i ^r (PW) [kcal/kg]	838	1112	4323	22%	1,48
S _t ^r (PW) [%]	1031	0,15	2,89	40%	2,16
W _t ^r PLG [%]	739	12,2	60,1	21%	-1,31
A ^r PLG [%]	988	3,6	43	57%	1,70
Q _i ^r PLG [kcal/kg]	739	1112	4323	23%	1,45
S _t ^r PLG [%]	880	0,12	2,9	47%	2,92

PW – pokład węgla, PLG – plaster górny. W_t^r – wilgotność całkowita, A^r – zawartość popiołu, Q_i^r – wartość opałowa, S_t^r – zawartość siarki całkowitej.
 PW – the lignite seam (i.e. the main seam or the lignite complex), PLG – the upper slice, W_t^r – moisture, A^r – ash content, Q_i^r – calorific value, S_t^r – sulphur content.

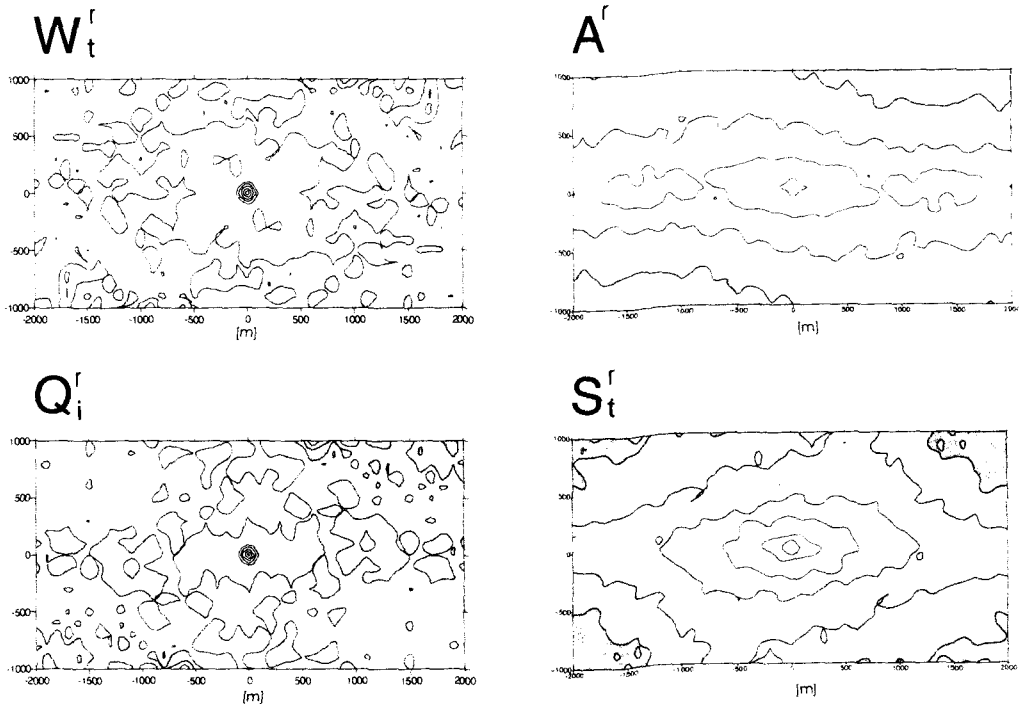


Rys. 5.2. Semiwarigramy relatywne izotropowe zmienności poziomej parametrów jakości węgla wraz z modelami sferycznymi (wariant A). Zgeneralizowane równanie modelu sferycznego ma postać: $\gamma(h) = C_0 + C \text{sph}(h/a)$; gdzie: C₀ – wariancja zmienności lokalnej (składnik losowy zmienności), C – wariancja zmienności przestrzennej (składnik nielosowy zmienności), a – zasięg modelu (autokorelacji parametru)

Fig. 5.2. Relative omnidirectional semivariograms of horizontal variability of the lignite quality parameters and their spherical models (variant A). Equation of spherical model: $\gamma(h) = C_0 + C \text{sph}(h/a)$
 C₀ – nugget variance, C – spatial variance, a – range of spherical model.

Dalszych informacji o strukturze zmienności badanych parametrów dostarczają semiwariogramy kierunkowe, przedstawione w formie map izoliniowych (rys. 5.3). Średnie, bezwzględne zróżnicowanie parametru dla dowolnego kierunku i odległości między punktami złoża można ustalić na mapie, odmierzając od punktu o zerowych współrzędnych (zlokalizowanego w centrum mapy) odcinek o odpowiedniej długości i orientacji. Analiza przebiegu izolinii jednoznacznie dowodzi, że parametry A^r i S_t^r cechuje silnie anizotropowy charakter zmienności – izolinie tworzą silnie wydłużone elipsy w kierunku najmniejszej zmienności (W-E), nawiązującym do przebiegu rowu Kleszczowa. Parametry Q_i^r i W_t^r mają natomiast charakter izotropowy – izolinie generalnie tworzą figury zbliżone do okręgów.

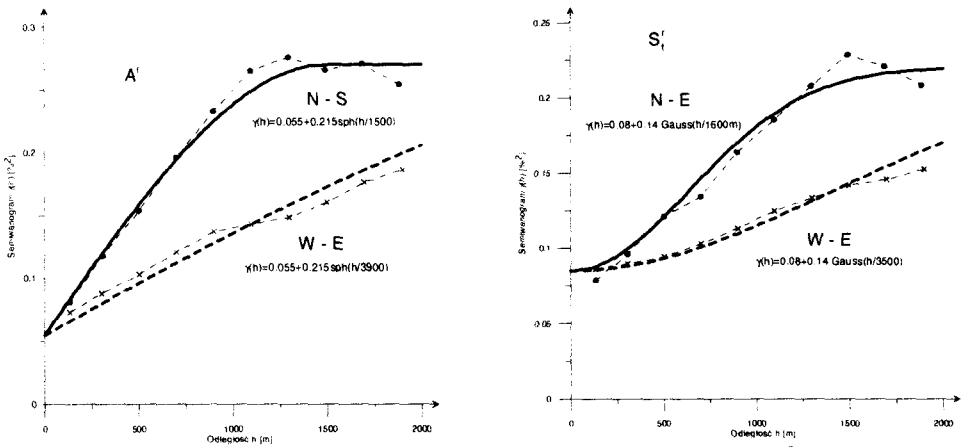
Istnienie anizotropii uzasadniało celowość i konieczność dokonania powtórnego modelowania geostatystycznego dla kierunków minimalnej i maksymalnej zmienności A^r i S_t^r (rys. 5.4). W przypadku A^r dobrano sferyczny model zmienności o zasięgach autokorelacji 3900 m (w kierunku W-E) i 1500 m (w kierunku N-S), natomiast w przypadku S_t^r – tzw. model Gaussa o zasięgach autokorelacji 3500 m (w kierunku W-E) i 1600 m (w kierunku N-S).



Rys. 5.3. Mapy izoliniowe wartości semiwariogramów (wariant A)
 Fig. 5.3. Contour maps of semivariogram surfaces (variant A)

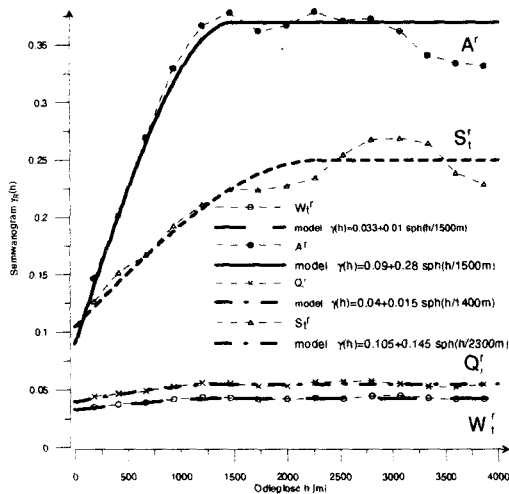
W następnej kolejności wykonano badanie statystyczne i modelowanie geostatystyczne (z pominięciem badania anizotropii) dla górnego wycinka (PLG) pokładu węgla (wariant B). Wartości współczynników zmienności (tab. 5.1) wskazują wbrew oczekiwaniom, że zmienność parametrów jakościowych w PLG nie jest znacząco większa od zmienności w całym pokładzie węgla, pomimo znacznie mniejszej miąższości PLG w stosunku do miąższości pokładu i w konsekwencji – znacznie słabszego uśrednienia danych z próbek elementarnych w kierunku pionowym. Ujawnia się to również w wynikach analizy geostatystycznej. Zadowolające

przybliżenie semiwariogramów uzyskuje się bowiem za pomocą praktycznie takich samych modeli zmienności jak dla całego pokładu węgla (rys. 5.5). Przyczyny tego zjawiska można, przynajmniej częściowo, upatrywać w silnej nielosowej zmienności badanych parametrów w kierunku pionowym, wzdłuż osi otworów wiertniczych. Pokazują to uśrednione dla wszystkich otworów semiwariogramy zmienności pionowej obliczone dla elementarnych próbek o długości około 3 m pobranych z rdzeni wiertniczych (rys. 5.6).



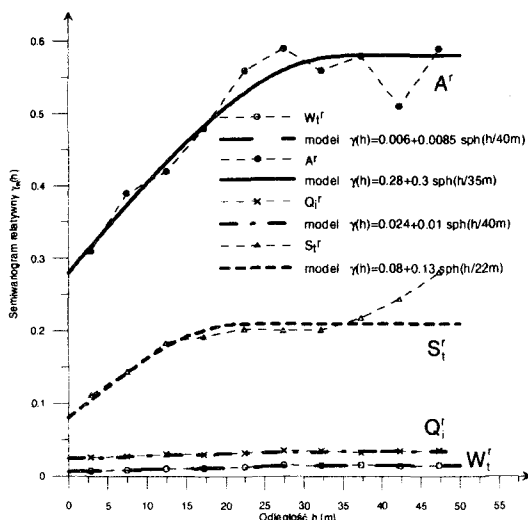
Rys. 5.4. Semiwariogramy kierunkowe poziomej zmienności zawartości popiołu A^r i siarki całkowitej S_t^r wzdłuż kierunku maksymalnej zmienności (N – S) i wzdłuż kierunku minimalnej zmienności (W – E) wraz z modelami (wariant A)

Fig. 5.4. Directional semivariograms of horizontal variability of ash and sulphur content variabilities along N – S – direction of maximum variability and W – E – direction of minimum variability and their models (variant A)



Rys. 5.5. Semiwariogramy relatywne izotropowe zmienności poziomej parametrów jakości węgla w plastrze górnym (PLG) wraz z modelami sferycznymi (wariant B)

Fig. 5.5. Relative omnidirectional semivariograms of horizontal variability of lignite qualitative parameters in the upper slice (PLG) and their spherical models (variant B)



Rys. 5.6. Semiwariogramy relatywnej zmienności pionowej parametrów jakości węgla w pokładzie węgla wraz z modelami sferycznymi (wariant A)
 Fig. 5.6. Relative semivariograms of vertical variability of lignite quality parameters in the lignite seam and their spherical models (variant A)

6. Dokładność szacowania parametrów jakości węgla brunatnego

W wykonanych badaniach oszacowano dokładność oceny średnich wartości czterech rozpatrywanych parametrów dla dwóch wielkości bloków obliczeniowych o poziomych rozmiarach: 400x1200 m i 60x120 m, zorientowanych dłuższymi bokami zgodnie z kierunkiem N-S, będącym jednocześnie kierunkiem największej zmienności A^I i S_1^I (rys. 3.1). Orientacja i geometria bloków jest generalnie zgodna z kierunkiem i postępem frontu eksploatacji, zaś ich wielkości nawiązują do wielkości obszaru rocznej eksploatacji złoża i obszaru złoża przeznaczonego do bezpośredniego wydobycia w krótkim okresie czasu. Dla przyjętej orientacji bloków, błąd oszacowania parametrów jakościowych powinien być większy niż dla innych położeń bloków obliczeniowych, a w szczególności dla takiej orientacji bloków, kiedy dłuższy bok jest równoległy do kierunku minimalnej zmienności W-E. W tym sensie, uzyskane bardziej „pesymistyczne” oceny dokładności można uważać za „bezpieczne”.

W przypadku dużych bloków, ocenę dokładności szacowania dla całego pokładu węgla wykonano dwukrotnie, wykorzystując za pierwszym razem modele geostatystyczne uśrednione dla wszystkich kierunków, tzw. izotropowe (rys. 5.2), a następnie modele uwzględniające anizotropię zmienności A^I i S_1^I (rys. 5.4). Dla przystopowej partii złoża (PLG) o grubości 20 m (wariant B), obliczenia wykonano wyłącznie dla modeli izotropowych (rys. 5.5).

W przypadku małych bloków, przedmiotem oceny były wyłącznie parametry jakości węgla w obrębie górnego wycinka pokładu węgla (PLG).

Procedura obliczeń wyglądała następująco. Na mapę rozpoznania wiertniczego pola Bełchatów naniesiono w odpowiedniej skali kontury bloków obu rodzajów a następnie, dla kolejnych ich lokalizacji wyznaczono procentowe relatywne błędy oceny średnich wartości parametrów jakości. Obliczenia wykonano oddzielnie dla części wschodniej i zachodniej obszaru badań w polu Bełchatów, różniących się wyraźnie gęstością rozpoznania wiertniczego złoża (rys. 3.1). W zastosowanej do oceny błędów procedurze krigingu blokowego, uwzględ-

dniono dane pochodzące z otworów, które znalazły się w obrębie bloków obliczeniowych lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie, tak jak to zaznaczono przykładowo na rysunku 3.1.

Tabela 6.1.

Błędy względne standardowe (%) oceny średnich wartości parametrów jakości węgla brunatnego w blokach obliczeniowych o różnej wielkości

Table 6.1.

Relative standard errors (%) of mean values estimations of lignite quality parameters in the mining blocks with different size

Partia złoza Mine part	Blok obliczeniowy Block for computation (m)	Zawartość popiołu Ash content		Zawartość siarki Sulphur content		Wartość opałowa Calorific value		Zawartość wilgoci Moisture	
		W	E	W	E	W	E	W	E
PW	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)
PW*	400x1200	6.9* (6-8)*	4.8* (4-6)*	5.5* (4-7)*	3.8* (3-5)*	no	no	no	no
PLG	400x1200	8.5 (7-10)	5.9 (5-7)	6.9 (6-8)	5.1 (4-6)	4.9 (4-6)	2.9 (2-4)	4.4 (4-6)	2.6 (2-4)
PLG	60x120	17.3 (11-28)	13.9 (10-44)	15.1 (9-25)	12.1 (10-38)	11.0 (7-22)	7.0 (5-22)	9.9 (6-20)	6.2 (4-20)

PW – pokład węgla, PLG – górną część pokładu węgla o miąższości 20 m (plaster góry);

* obliczenia wykonane dla anizotropowego modelu zmienności, no – nie obliczono;

W, E – odpowiednio: zachodnia i wschodnia część badanego obszaru pola Bełchatów;

() – zakres zmienności błędów.

PW – the lignite seam, PLG – the upper part of the lignite seam (i.e. upper slice; thickness 20 m)

* computation for anisotropic model of variability, no – not calculated;

W, E – relatively: the west and the east part of the studied area form the Bełchatów field

() – range of error variability

W większych blokach pokładu węgla (wariant A), błędy te (tab. 6.1) dla geostatystycznego modelu izotropowego i anizotropowego, różnią się w nieznacznym stopniu, co sugeruje możliwość stosowania do ich oceny prostszego modelu izotropowego. Generalnie, dokładność oszacowań z małymi względnymi błędami standardowymi (dla poziomu prawdopodobieństwa $P = 68\%$) z zakresu 2 – 8 %, można uznać za wysoką i z formalnego punktu widzenia przyporządkować ją, w zależności od rozpatrywanego parametru, do kategorii B lub A rozpoznania. Zbliżone wyniki uzyskano dla plastra górnego (wariant B), dla którego błędy standardowe z zakresu 2 – 10% są tylko nieznacznie większe niż dla całego pokładu węgla i w sensie formalnym nie powodują zmiany kategorii rozpoznania.

W przypadku bloków 60x120 m stwierdza się spodziewane, znaczące obniżenie dokładności oszacowań średnich wartości parametrów jakości węgla, związane z tzw. regresem dokładności wraz ze zmniejszeniem powierzchni bloków. W porównaniu z blokami 400x1200 m, następuje blisko trzykrotny wzrost przeciętnych błędów, a rozrzut skrajnych błędów jest bardzo szeroki i wyznacza przedział: 4 – 44%. Dokładność oszacowania najbardziej zmiennego parametru jakim jest A^t , z błędami względnymi standardowymi od 11 do 28%, odpowiada zaledwie wymaganiom stawianym w kategoriach: C_1 , C_2 lub D_1 . Dowodzi to niedostatecznej dokładności prognozowania średnich wartości parametrów jakościowych w parcelach przewidzianych bezpośrednio do eksploatacji, wyłącznie na podstawie rozpoznania otworowego. Dla uzyskania zadowalającej dokładności oszacowania konieczne jest uwzględnienie wyników opróbowania bruzdowego ścian eksploatacyjnych zlokalizowanych wewnątrz lub w pobliżu obszaru szacowania.

7. Podsumowanie i wnioski

1. Wśród czterech rozpatrywanych parametrów opisujących jakość kopaliny w badanej części złoża węgla brunatnego Bełchatów (pole Bełchatów), można wyróżnić dwie grupy parametrów, różniące się intensywnością zmienności i jej strukturą. Do pierwszej grupy można zaliczyć zawartość popiołu i siarki, cechujące się większą zmiennością (współczynnik zmienności około 40%), wyraźnymi prawidłowościami zmian i anizotropowym charakterem zróżnicowania wartości w przestrzeni złożowej. Do drugiej grupy należy natomiast wartość opałowa i zawartość wilgoci, 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 więc decydować dokładność szacowania najbardziej zmiennych parametrów – zawartości popiołu i siarki.

2. Geostatystyczna struktura zmienności parametrów jakościowych może być łatwo opisana za pomocą modeli sferycznych, które odzwierciedlają, za pomocą składnika nielosowego zmienności, siłę prawidłowości zmian parametrów, zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej złoża. Z punktu widzenia zmienności horyzontalnej w pokładzie węgla (pokład główny lub pokłady B+C+D), badane parametry można uszeregować zgodnie z malejącym udziałem składnika nielosowego w całkowitej zmienności w następującej kolejności: zawartość popiołu (74%), zawartość siarki (60%), wartość opałowa (20%) i zawartość wilgoci (13%). Zestawienie to pozwala stwierdzić, że efektywność geostatystycznej procedury krigingu jest najwyższa przy szacowaniu średnich zawartości popiołu i siarki, natomiast szacowanie średnich wartości opałowych i zawartości wilgoci może być równie efektywnie wykonywane przy wykorzystaniu prostszej, klasycznej metody statystycznej. Podobne rezultaty uzyskano dla przystropowej części pokładu węgla o miąższości 20 m.

3. Szacowanie średnich wartości parametrów jakościowych w dużych blokach obliczeniowych odpowiadających partiom złoża o wielkości porównywalnej z obszarem rocznej eksploatacji złoża (o powierzchni około 0,5 km²), oparte na wynikach rozpoznania wiertniczego, cechuje się wysoką dokładnością ze średnimi błędami względnymi standardowymi (dla poziomu prawdopodobieństwa $P = 68\%$) najbardziej zmiennych parametrów (zawartości popiołu i siarki) rzędu 5%.

Dostatecznej dokładności nie zapewnia natomiast podobne szacowanie, wykonane dla przygotowywanych do bieżącej eksploatacji małych partii złoża (o powierzchni około 0,7 ha), dla których średnie błędy względne standardowe oszacowania średniej zawartości popiołu i siarki wynoszą około 15% tzn. około 30% dla poziomu prawdopodobieństwa $P = 0,95$. Możliwości zwiększenia dokładności należy w tym przypadku upatrywać w wykorzystaniu, 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.

Podziękowania

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

Literatura

- [1] Borowicz A., Specylak J., Ślusarczyk G., Kawalec W. 1996: Wstępna ocena złoża węgla brunatnego Bełchatów – pole Szczerców – przy użyciu techniki komputerowej. *Górnictwo Odkrywkowe*. Instytut – Poltegor. Wrocław, XXXVIII, 3, 11 – 28.
- [2] Czarnecki L., Frankowski J., Kuszneruk J. 1992: Syntetyczny profil litostratygraficzny utworów trzeciorzędu w złożu “Bełchatów”. *Materiały XV Symp. Geol. Formacji Węgl. Polski*. Wyd. AGH. Kraków, 18 – 23.
- [3] Isaaks E. H., Srivastava R. M. 1989: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 p.
- [4] Journel A. C., Huijbregts Ch. J. 1978: *Mining Geostatistics*. Academic Press., London, 600 p.
- [5] Matł K. 2000: Wybrane elementy budowy geologicznej złoża Bełchatów. W: *Charakter petrograficzny i warunki sedimentacji wybranych kompleksów litologicznych z profilu miocenu w złożu węgla brunatnego Bełchatów*. *Prace Geol. PAN*, 147: 11 – 20.
- [6] Matheron G. 1962-1963: *Traité de géostatistique appliquée*. T. 1 (1962), s.334. T.2 (1963), s.172. Editions Technip, Paris.
- [7] Mucha J. 1994: *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*. Skrypt, Katedra Geologii Kopalnianej, AGH, Kraków, s. 155.
- [8] Nieć M.(red.) 2002: *Zasady dokumentowania złóż kopalin stałych*. Ministerstwo Środowiska, KZK, Warszawa.
- [9] Słomka T., Mucha J., Mastej W., Bartuś T., Dolik M., Słomka E., Leśniak T. 2002: *Geostatystyczna analiza głównych parametrów jakościowych węgla brunatnego pola Bełchatów*. Kraków, listopad 2002; *Arch. KWB Bełchatów*.

Geostatistical modelling and estimation of lignite quality in the Bełchatów deposit (Poland)

The basic sources of information on the Bełchatów lignite deposit are boreholes. Drill cores from about 1200 boreholes had been sampled and assayed for ash and sulphur content, moisture and calorific value in row coal. These basic parameters control the quality of lignite. The study aimed to determine the accuracy of mean values estimations of quality parameters for mining fields of different sizes: 400x1200 m (the fields scheduled for extraction during one year) and 60x120 m (mining units scheduled for current extraction). Prediction of accuracy was carried on with the block kriging procedure based on detailed geostatistical analysis and modelling of parameters variability preceded by classical statistical analysis. The obtained results demonstrate that relative variability of studied parameters expressed by the coefficient of variation is distinctly diversified. Variabilities of the ash and sulphur contents are twice higher than those of calorific value and moisture. The semivariograms showed different nature of the structure of parameter variability expressed first of all by the non-random and anisotropic variability of the ash and sulphur contents, and random and isotropic variability of the calorific value and moisture. It was found that present borehole grid ensures satisfactory accuracy of the mean estimation of quality parameters within blocks: 400x1200 m and insufficient accuracy of the ash and sulphur contents estimations for blocks: 60x120 m.

Przekazano: 25 kwietnia 2004 r.