

Justyna JUREK*, Jacek MUCHA**, Monika WASILEWSKA-BŁASZCZYK***

Przegląd zastosowań geostatystyki do szacowania parametrów polskich złóż węgla brunatnego

Streszczenie: Analiza opracowań publikowanych i wybranych prac niepublikowanych wykazała, że do geostatystycznego modelowania przestrzennego rozkładu parametrów polskich złóż węgla brunatnego najczęściej wykorzystywano metodę kriginu zwyczajnego, a rzadko symulację geostatystyczną. Skrótoowo opisano wyniki dotychczasowych badań geostatystycznych, wskazując m.in. na trudności oceny wiarygodności modeli geostatystycznych związane z brakiem informacji o jakości danych podstawowych w dokumentacjach geologicznych, odmienność struktur zmienności parametrów pokładów węgla w różnych złożach, małą przydatność modeli geostatystycznych opartych na danych z rozpoznania wiertniczego złóż do prognozowania i sterowania jakością urobku, relatywnie małą dokładność szacowania wartości parametrów w punktach i małych blokach. Ponadto, zwrócono uwagę na możliwości wykorzystania w badaniach innych narzędzi geostatystycznych i zaproponowano poszerzenie zestawu parametrów jakościowych węgla brunatnego, które powinny być przedmiotem analiz geostatystycznych.

Słowa kluczowe: węgiel brunatny, parametry złożowe, geostatystyka, krigin, semiwariogram

Overview of geostatistics applications for estimation of parameters of Polish lignite deposits

Abstract: Analysis of the published and selected unpublished papers showed that for model spatial variability of lignite deposit parameters the ordinary kriging method was used most of all and – rarely – geostatistical conditional simulation method. Results of previous geostatistical researches were briefly described in the paper. It was stated as follows: limited credibility of geostatistical models due to the lack of information on the quality of basic data in geological reporting, the diversity of variability structures of deposit parameters in different fields, low utility of geostatistical models based on data from reconnaissance drilling to predict and control the quality of output, the relatively low accuracy of parameter values estimations at points and within small blocks.

* Mgr inż., absolwentka AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Dr hab. inż., prof. AGH, *** Dr inż., Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: mucha@geol.agh.edu.pl

Furthermore, the possibilities of using other geostatistical tools were mentioned. Widening set of quality parameters of lignite, which should be the subject of geostatistical analysis, was proposed.

Key words: lignite, deposit parameters, geostatistics, kriging, semivariogram

Wprowadzenie

Historia zastosowań geostatystyki Matherona (1962–1963) do badania polskich złóż węgla brunatnego jest krótka i liczy niespełna 20 lat. Stosunkowo nieliczne są jeszcze w polskim czasopiśmiennictwie publikowane z tego zakresu opracowania. Można już jednak pokusić się o pierwsze podsumowania uzyskanych wyników badań.

Ważną i specyficzną cechą geostatystycznego szacowania parametrów złożowych realizowanego za pomocą jednej z procedur krigingu jest oparcie się na uprzednio dokonany opis struktury ich zmienności. Strukturę zmienności charakteryzuje się za pomocą funkcji zwanej semiwariogramem, ujmującej zależność między średnim zróżnicowaniem wartości parametrów złożowych i odległością między miejscami ich pomiarów (Mucha 1994). Analiza semiwariogramów pozwala rozstrzygnąć czy zmienność ma charakter izotropowy czy też anizotropowy, jaki jest zasięg autokorelacji (podobieństwa) wartości parametru oraz jaki jest udział w obserwowanej zmienności jej składników: losowego i nielosowego. Dopasowane do semiwariogramów modele teoretyczne służą w procedurze krigingu do oszacowania z minimalnym błędem wartości parametrów złożowych w punktach lub blokach. Procedura uwzględnia przy tym położenie punktów rozpoznania (opróbowania) złoża względem szacowanego punktu lub bloku, wzajemne położenie punktów rozpoznania względem siebie, kształt i wielkość bloku. Efektywność szacowania parametrów złożowych jest większa, gdy struktura ich zmienności cechuje się dużym zasięgiem autokorelacji i dużym udziałem nielosowego składnika zmienności, który wyraża ciągłość zmian wartości parametru w przestrzeni złożowej.

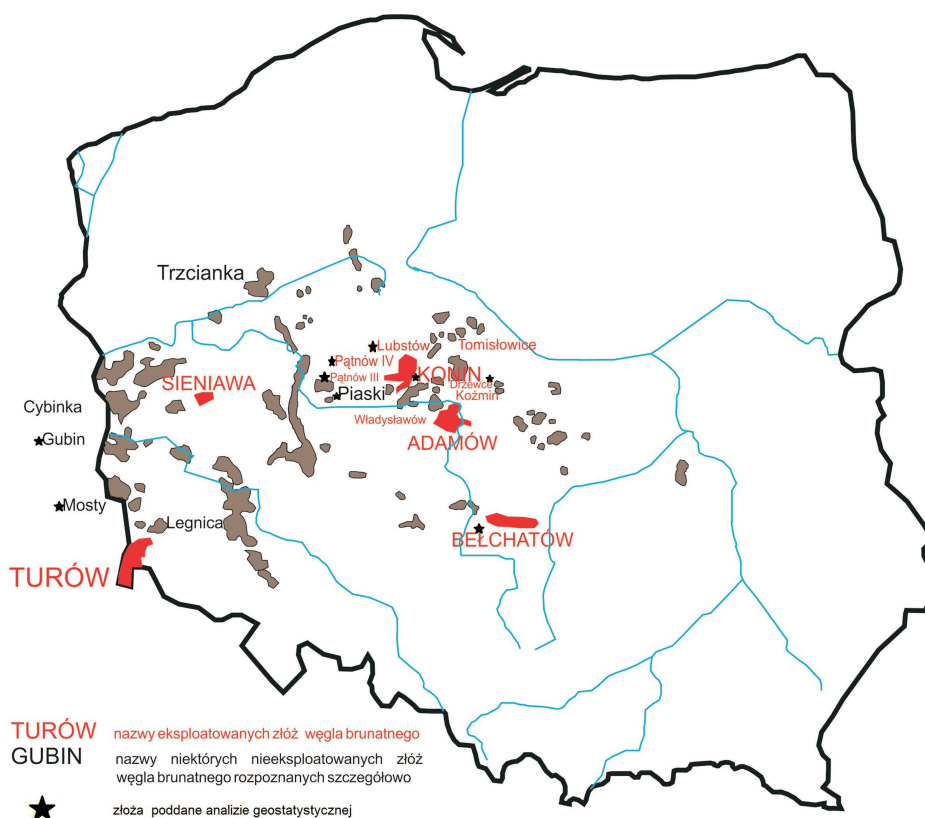
Geostatystyczna analiza zmienności i wyniki procedury krigingu umożliwiają rozwiązanie wielu ważnych zadań geologiczno-górnictwowych, takich jak:

- oszacowanie punktowe i przedziałowe zasobów kopaliny, oszacowanie zasobów gwarantowanych,
- kategoryzację dokładności oszacowania zasobów na podstawie wyznaczonych wielkości błędów oszacowań (błędów krigingu),
- interpolowanie wartości parametrów złożowych w regularnej sieci punktów lub bloków i konstruowanie na tej podstawie map izolinowych oraz wyznaczanie granic złoża bilansowego,
- konstruowanie modeli geologicznych złóż 2D lub 3D,
- planowanie eksploatacji uśredniającej w warunkach anizotropowej zmienności parametru i sterowanie jakością urobku,
- projektowanie sieci opróbowań przy przejściu do wyższych kategorii stopnia zbadania złoża,
- wyznaczanie wielkości i kształtów jednorodnych partii złoża.

Przedstawione potencjalne zastosowania geostatystyki w geologii górniczej i górnictwie uzasadniają celowość prowadzenia tego typu badań w odniesieniu do złóż węgla brunatnego.

W Polsce eksploatowanych jest dziewięć złóż węgla brunatnego, m.in. największe złoża Bełchatów (pola Bełchatów i Szczerców), Turów, Pątnów IV, Tomisławice, Adamów, Drzewce, Koźmin, Sieniawa 1, w fazie likwidacji są trzy złoża: Władysławów, Lubstów i Pątnów III (rys. 1). Ponadto należy wspomnieć o kilkunastu złożach nieeksploatowanych, ale rozpoznanych szczegółowo (w kat. A + B + C₁). Łączne zasoby geologiczne bilansowe tych złóż wynoszą około 3,3 mld ton, przy czym około 95% skupiają cztery złoża: Legnica (pola Zachodnie i Wschodnie), Gubin, Bełchatów–pole Kamieńsk oraz Trzcianka (Szuflicki i in., red. 2013).

Przedmiotem dotychczasowych analiz geostatystycznych były parametry złożowe części złóż eksploatowanych: Bełchatów – pole Bełchatów (Mucha i in., 2003, 2004; Bartuś 2005; Kądzioła, Mastej 2007; Bartuś, Słomka 2009; Bartuś 2012), Bełchatów – pole Szczerców (Borowicz i in. 1996; Jurek 2012) oraz złóż lub ich części należących do KWB Konin (Kozula, Mazurek 1996; Naworyta 2007, 2008; Naworyta, Mazurek 2007) (rys. 1). Metody geostatystyczne wykorzystano także do badania parametrów niezagospodarowanych złóż węgla brunatnego, m.in. Gubin (Kasztelewicz, red. 2011; Kaczmarczyk i in. 2012), Gubin–Mosty–Brody (Kasztelewicz, red. 2011), Głowaczów (Naworyta, Mazurek 2010) (rys. 1).



Rys. 1. Rejony występowania złóż węgla brunatnego w Polsce i rozmieszczenie złóż badanych geostatystycznie (Kasiński i in. 2006 – wersja uzupełniona)

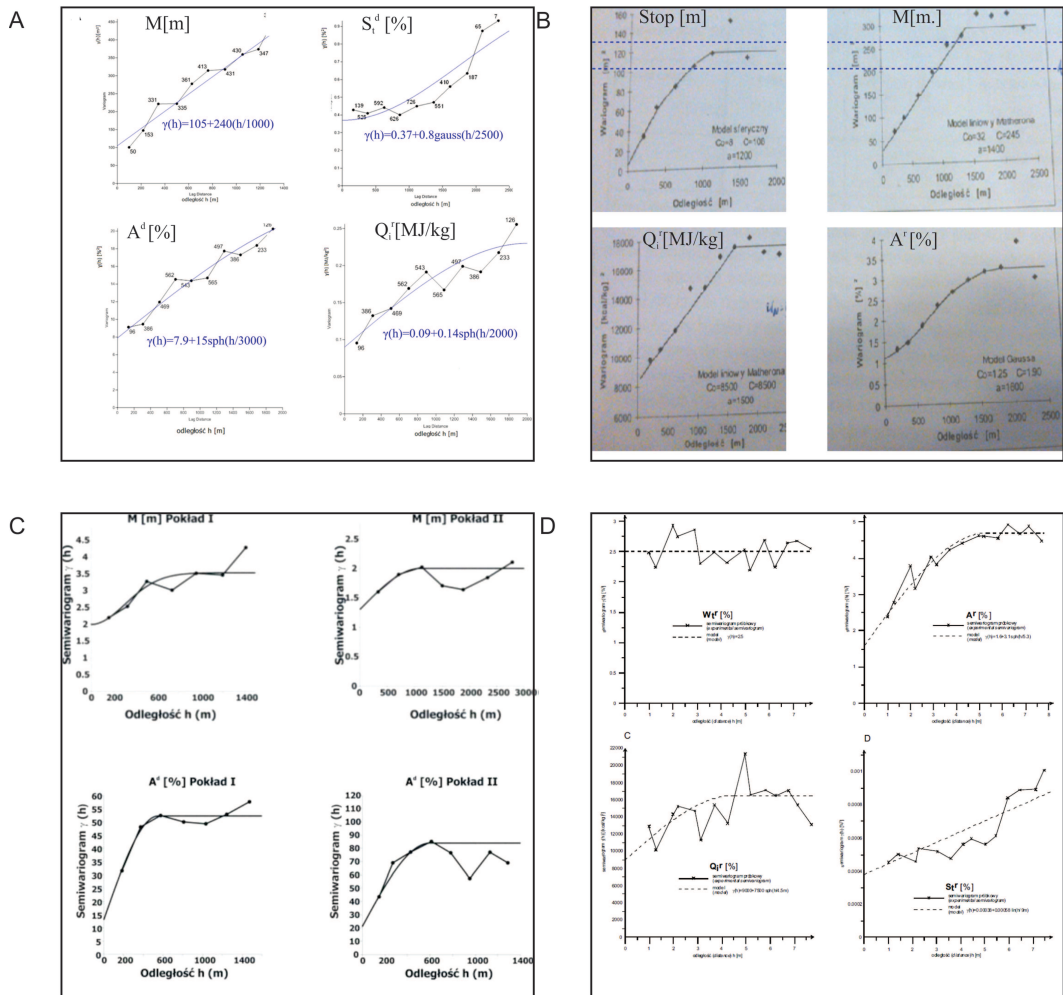
Fig. 1. The areas of lignite deposits in Poland and location of deposits analyzed geostatistically

Z metodycznego punktu widzenia do szacowania miąższości pokładów i parametrów charakteryzujących jakość węgla stosowano głównie podstawowy i historycznie najstarszy wariant krigingu – kriging zwyczajny w wersji punktowej i blokowej. Dopiero w ostatnich latach włączono do analiz popularną w badaniach światowych geostatystyczną symulację warunkową (Naworyta, Benndorf 2011, 2012; Naworyta, Sypniowski 2013).

Przedmiotem oszacowań były w pierwszej kolejności: miąższość pokładów, zawartości siarki i popiołu oraz wartość opałowa węgla. Sporadycznie tylko przedmiotem opracowań były inne parametry, takie jak wilgotność węgla i zawartość frakcji piaskowej. Do analizy struktury ich zróżnicowania wykorzystywano różne estymatory semiwariogramów: klasyczny, relatywny i tzw. *inverted covariance*. Różnorodność zastosowanych estymatorów utrudnia nieco porównanie uzyskanych wyników badań z różnych złóż. Pogłębiają je dodatkowo zróżnicowane liczebności zbiorów danych oraz szeroki przedział czasowy, w którym rozpoznawane były złoża, z czym wiąże się wzrastający poziom techniki wiertniczej skutkujący zróżnicowanymi uzyskami rdzenia wiertniczego.

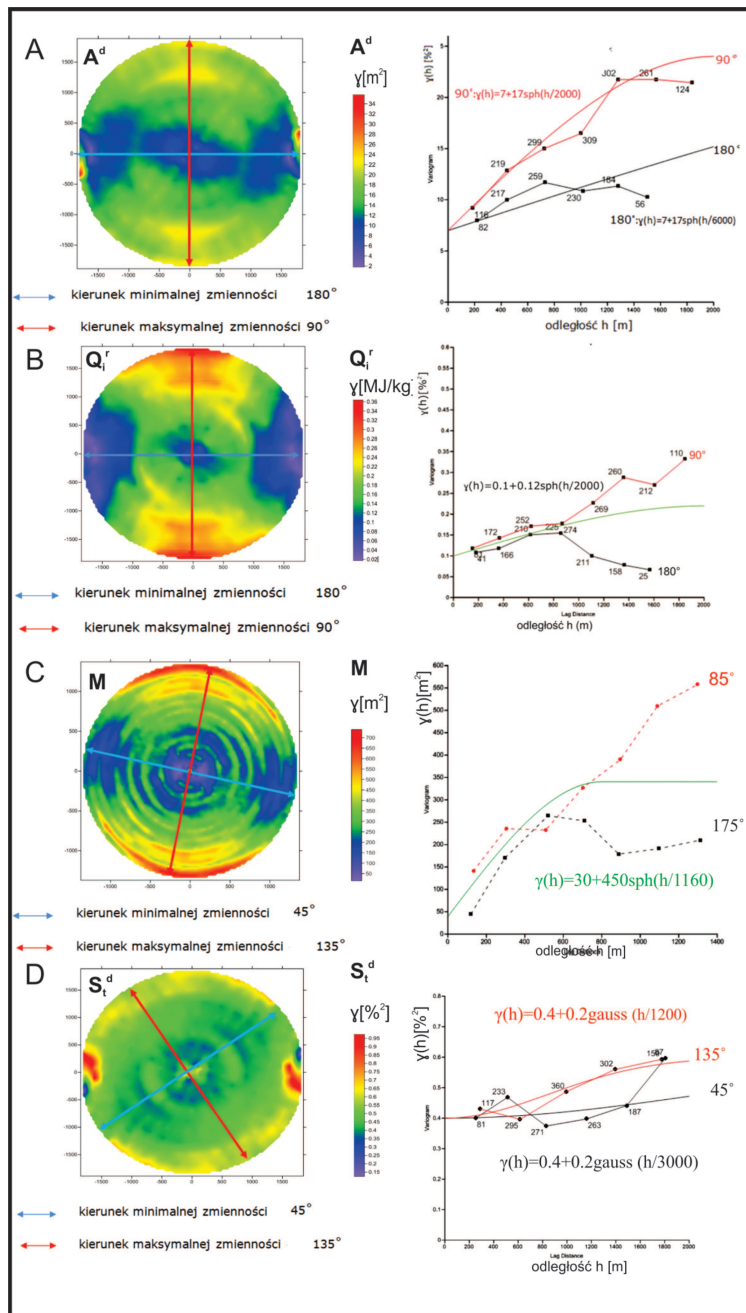
Biorąc pod uwagę wymienione zastrzeżenia, ważniejsze wyniki dotychczasowych badań podsumowano w formie zgeneralizowanej w poniższych punktach.

1. Nieznany jest wpływ szeroko rozumianych błędów opróbowania i ich rejestracji w bazach danych na wiarygodność tworzonych geostatystycznych modeli parametrów złożowych (modeli zróżnicowania wartości parametrów w przestrzeni złożowej i modeli ich rozmieszczenia przestrzennego). Powszechnym mankamentem wszelakich dokumentacji geologicznych (ale nie tylko węgla brunatnego) jest brak oceny jakości materiału podstawowego badań, a w szczególności przynajmniej próby ilościowej oceny wielkości i rodzajów błędów wprowadzanych od momentu pobrania próbek z rdzeni otworów wiertniczych do momentu oznaczenia parametrów opisujących jakość węgla. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że błędy opróbowania mogą w istotny sposób rzutować na wiarygodność oszacowań wartości parametrów złożowych.
2. Modele geostatystyczne struktury zróżnicowania wartości parametrów (modele semiwariogramów) dla różnych złóż, pokładów, a nawet ich części mogą różnić się znacząco. Ryzykowne jest oczekiwanie zbliżonej struktury zmienności parametrów złożowych w złożach podobnych pod względem budowy geologicznej, co oznacza konieczność indywidualnego traktowania każdego obszaru szacowania parametrów i zasobów.
3. Zmienność podstawowych parametrów złóż węgla brunatnego (miąższość pokładu, zawartości siarki i popiołu, wartość opałowa) cechuje mocniej lub słabiej zaznaczona nielosowość wyrażająca się tendencją wzrostową wartości semiwariogramów (rys. 2), co uzasadnia celowość szacowania wartości tych parametrów przy zastosowaniu geostatystycznych procedur krigingu. Niekiedy w zmienności wartości opałowej, a szczególnie zawartości wilgoci całkowitej udział składnika nielosowego jest na tyle słaby, że zmienność ma charakter zbliżony do losowego, co uzasadnia szacowanie wartości tych parametrów prostszymi metodami statystyki klasycznej.
4. Ważnym elementem geostatystycznego modelowania zmienności z punktu widzenia jego poprawności jest znajomość lokalnej zmienności parametrów złożowych, co wymaga dodatkowego opróbowania złoża w różnych jego częściach z rozstawem próbek rzędu kilku–kilkunastu metrów. Wykonane do tego celu opróbowanie eksperymentalne w jednym z fragmentów złoża Bełchatów okazało się niewystarczające dla rozwiązania tego zagadnienia.



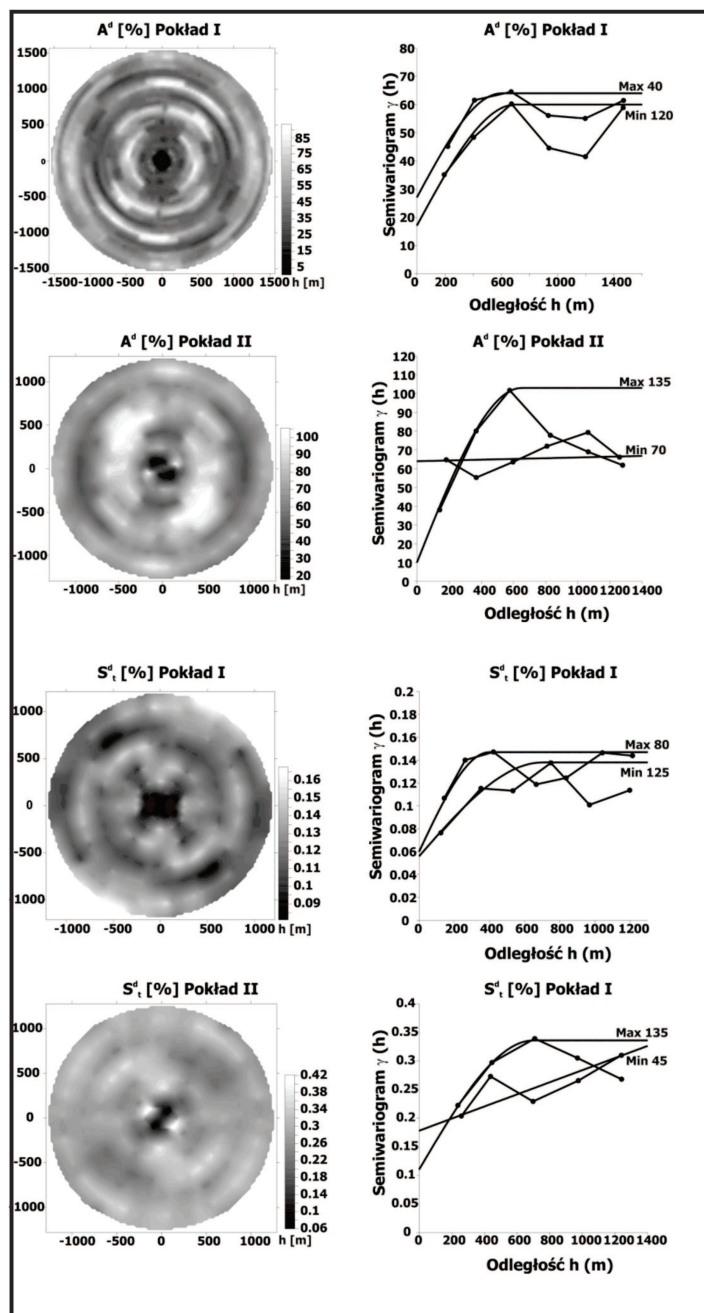
Rys. 2. Przykładowe semiwariogramy izotropowe (punkty) i ich modele teoretyczne: miąższości, zawartości siarki całkowitej, zawartości popiołu oraz wartości opałowej (pole Szczerców) (A) (Jurek 2012); miąższości, zawartości siarki całkowitej, zawartości popiołu oraz wartości opałowej (pole Szczerców) (B) (Borowicz i in. 1996); miąższości pokładu I oraz II, zawartości popiołu dla pokładu I oraz II (Gubin) (C) (Kaczmarczyk i in. 2012); zawartości wilgoci całkowitej, zawartości popiołu, wartości opałowej, zawartości siarki całkowitej (pole Bełchatów) (D) (Bartuś, Słomka 2009)

Fig. 2. Exemplary semivariograms and theoretical models: thickness, sulfur content, ash content and calorific value (Szczerców area) (A) (Jurek 2012); height of deposit roof, thickness, calorific value, ash content (Szczerców area) (B) (Borowicz et al. 1996); thickness of seam I and seam II, ash content of seam I and seam II (Gubin deposit) (C) (Kaczmarczyk et al. 2012); moisture, ash content, calorific value, sulfur content (Bełchatów area) (D) (Bartuś, Słomka 2009)



Rys. 3. Mapy semiwariogramów i semiwariogramy kierunkowe oraz ich modele teoretyczne dla zawartości popiołu (A), wartości opałowej (B), miąższości (C) i zawartości siarki całkowitej (D) we fragmencie pola Szczerców (złoże eksploatowane) (Jurek 2012)

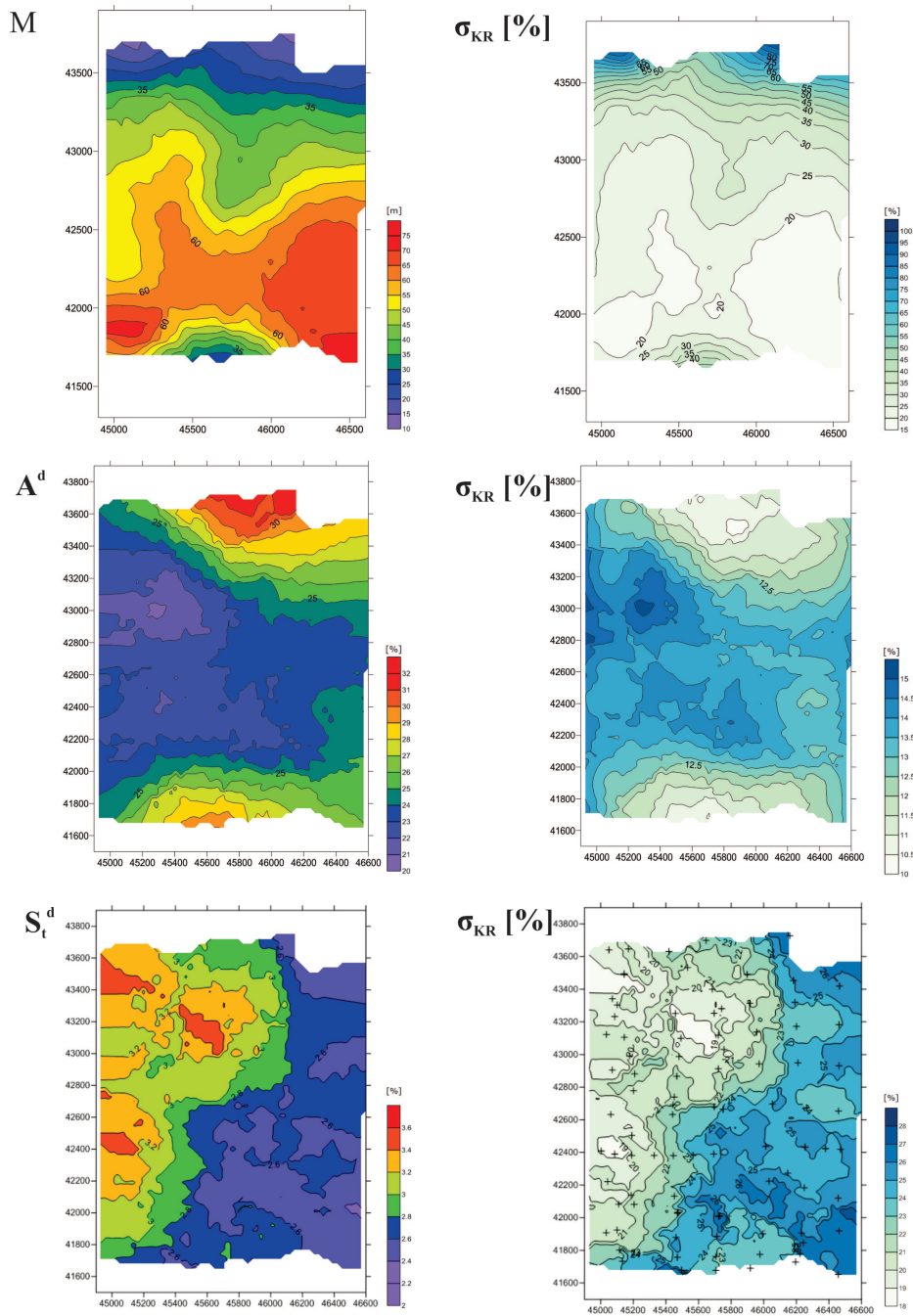
Fig. 3. Maps of semivariograms and directional semivariograms of the ash content (A.), calorific value (B), thickness (C), total sulphur content (D) in selected part of the Szczerców field (Jurek 2012)



Rys. 4. Mapy semiwariogramów i semiwariogramy kierunkowe oraz ich modele teoretyczne dla zawartości popiołu (pokład I i II), zawartości siarki całkowitej (pokład I i II) dla złoża Gubin (złoże niezagospodarowane) (Kaczmarczyk i in. 2012)

Fig. 4. Maps of semivariograms and directional semivariograms of the ash content in seam I and seam II, sulphur content in seam I and seam II (Gubin lignite deposit) (Kaczmarczyk et al. 2012).

5. Anizotropia zmienności (różnicowania zmienności kierunkowej) parametrów jakościowych, podobnie jak i udział nielosowego składnika zmienności, wykazują silne różnicowanie w zależności od obszaru badań; przykładowo anizotropia zmienności zawartości popiołu i siarki w polu Bełchatów jest silnie zaznaczona, w polu Szczerców w sposób umiarkowany (rys. 3 i 4), natomiast w niezagospodarowanym złożu Gubin można przyjąć izotropowy styl ich zmienności. W przypadku stwierdzenia silnej anizotropii zmienności parametrów, fakt ten winien być uwzględniony przy okazji geostatystycznego modelowania zmienności i w konsekwencji przy szacowaniu ich wartości w punktach i blokach obliczeniowych złoża oraz w trakcie projektowania zagęszczającego rozpoznania złoża i projektowania eksploatacji uśredniającej.
Występowanie anizotropii zmienności parametrów na ogół można wiązać z genezą złoża. W polu Bełchatów kierunek minimalnej zmienności jest zgodny z przebiegiem rowu Kleszczowa (W-E), w którym występuje złożo. Prostopadły do niego kierunek maksymalnej zmienności może być związany z wyklinowywaniem się pokładu i z zaburzeniami jego brzeżnych części.
6. Oparte na modelowaniu geostatystycznym oceny błędów oszacowań średnich wartości parametrów (błędy standardowe krigingu) są różnicowane w zależności od wielkości szacowanego obiektu; przykładowo w złożu Bełchatów dla dużych bloków o rozmiarach 400×1200 m zbliżonych do rozmiarów obszaru rocznej eksploatacji (pole Bełchatów) i 600×600 m (pole Szczerców) są one niewielkie i przyjmują wartości rzędu 5–15%, natomiast dla małych bloków o rozmiarach rzędu 60×120 m analogiczne błędy są znacznie większe i wynoszą 5–45%.
7. Przydatność danych z dokumentacji geologicznej do długoterminowego planowania eksploatacji (sterowania jakością węgla) jest bardzo ograniczona; modele blokowe dla złóż zagłębia konińskiego wykonane na podstawie danych z dokumentacji geologicznej i dane eksploatacyjne różniły się znacząco.
8. Zastosowanie bardziej pracochłonnej symulacji geostatystycznej pozwala na lepsze – w porównaniu z procedurą krigingu zwyczajnego – odtworzenie lokalnej zmienności parametrów złożowych (i rzeczywistego zakresu ich zmienności); dla uzyskania zbliżonego efektu w przypadku procedury krigingu zwyczajnego należy wyniki tej procedury skorygować stosując poprawkę Yamamoto (2005).
9. Ilustrowanie rozmieszczenia wartości parametrów złóż węgla brunatnego za pomocą map izoliniowych opartych na interpolacji punktowej jest na ogół obarczone dość dużym, ale różnicowanym dla różnych parametrów błędem (rys. 5). Można go obniżyć stosując interpolację blokową. Zwiększanie rozmiarów takich bloków prowadzi do wyraźnego obniżenia błędu. Ujemną stroną takiego postępowania jest zmniejszenie „rozdzielczości” mapy, gdyż wartość parametru odczytana w danym punkcie takiej mapy odnosi się nie do samego punktu, lecz do średniej wartości parametru w bloku, którego środek stanowi ten punkt.



Rys. 5. Mapy izolinowe oszacowanej wartości parametru oraz względnego, standardowego błędzi krigingu we fragmencie pola Szczerców (Jurek 2012)

Fig. 5. Contour maps of the estimated parameter values and the relative standard errors of kriging (%) in selected part of the Szczerców field (Jurek 2012)

Podsumowanie i wnioski – pożądane kierunki dalszych badań

1. Metody geostatystyczne wykorzystywane są najczęściej w pracach naukowych ośrodków akademickich, natomiast w mniejszym stopniu stosowane w zakładach górniczych. Może to być związane ze skomplikowaną podstawą teoretyczną geostatystyki, jak i trudnościami w modelowaniu geostatystycznym złóż oraz dostępnością odpowiedniego oprogramowania komputerowego.
2. Dotychczasowe badania geostatystyczne złóż węgla brunatnego cechuje pewna fragmentaryczność, rozumiana jako objęcie analizą z reguły tylko wybranych partii całych złóż, jak i niepełnego zestawu parametrów opisujących jakość węgla.
3. Nielosowość zmian wartości zdecydowanej większości parametrów złożowych potwierdza celowość badania złóż węgla brunatnego metodami geostatystyki Matherona, co gwarantuje uzyskanie bardziej wiarygodnych rezultatów szacowania parametrów złożowych niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod statystyki klasycznej.
4. Należy poszerzyć zakres dotychczas stosowanych metod geostatystyki i zweryfikować przydatność bardziej zaawansowanych metod geostatystyki nieliniowej (kriging uniwersalny, indyktorowy, probabilistyczny, rozłączny i inne).
5. Pożądane i racjonalne jest konstruowanie geostatystycznych modeli 3D całych złóż węgla brunatnego jako podstawy wielowariantowego szacowania zasobów (bilansowych, przemysłowych, operatywnych) oraz przy dobrym rozpoznaniu złoża sterowania jakością urobku.
6. Celowe jest rozszerzenie pakietu badanych parametrów złożowych o parametry ważne z punktu widzenia przydatności technologicznej surowca, jak np. zawartości: krzemionki, tlenu wapnia, azotu, części lotnych.
7. Geostatystyczne modelowanie złóż winno być obligatoryjnie poprzedzone statystyczną kontrolą poprawności wyników opróbowania złóż (Mucha, Wasilewska-Błaszczuk 2009, 2013).

Literatura

- Bartuś T., 2005 – Statystyczne modele zmienności parametrów jakości węgla brunatnego w centralnej części złoża Bełchatów (praca doktorska). Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Bartuś T., 2012 – Anizotropia zmienności głównych parametrów jakości węgla brunatnego w polu Bełchatów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 28, z. 2, s. 5–29.
- Bartuś T., Słomka T., 2009 – Geostatystyczna estymacja parametrów jakości węgla brunatnego w polu Bełchatów wykorzystująca znajomość zmienności lokalnej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 25, z. 2, IGSMiE PAN, Kraków, 5–22.
- Borowicz i in. 1996 – Borowicz A., Specylak J., Ślusarczyk G., Kawalec W., 1996 – Wstępna ocena złoża węgla brunatnego Bełchatów – pole Szczerców przy użyciu techniki komputerowej. *Górnictwo odkrywkowe*, nr 3, 11–28.
- Jurek J., 2012 – Badanie anizotropii zmienności parametrów złoża węgla brunatnego Bełchatów w wytypowanym fragmencie pola Szczerców. Pr. dypl., opr. niepubl., arch. KGZiG, AGH.
- Kaczmarczyk i in. 2012 – Kaczmarczyk M., Nieckula M., Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., 2012 – Praktyczne konsekwencje geostatystycznego badania struktury zmienności parametrów złoża węgla brunatnego Gubin i Siarki Osiek. *Zeszyty Naukowe* nr 83, IGSMiE PAN, Kraków, 51–68.
- Kasiński i in. 2006 – Kasiński J., R. Mazurek S., Piwocki M., 2006 – Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

- Kasztelewicz Z., red., 2011 – Uwarunkowania zagospodarowania perspektywicznych złóż węgla brunatnego na przykładzie planowanej wieloodkrywkowej kopalni Gubin–Mosty–Brody. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Kądziola L., Mastej W., 2007 – Jednorodność parametrów kopaliny testowana metodą geostatystyczną – prezentacja działania oprogramowania na danych z KWB „Bełchatów”. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, WUG, nr 6, 23–25.
- Kozula R., Mazurek S., 1996 – Wstępna ocena stopnia rozpoznania podstawowych parametrów złożowych konińskich złóż węgla brunatnych w blokach geologicznych metodą krigingu. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 3, 78–85.
- Matheron G., 1962–1963 – *Traité de géostatistique appliquée*. t. 1 (1962), s. 334, t. 2 (1963), s. 172, Editions Technip., Paris.
- Mucha J., 1994. – Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Mucha J., Wasilewska M., 2009. – Ocena błędów opróbowania złóż – statystyczny niezbędnik geologa górniczego. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2–3, Wrocław, 84–90.
- Mucha J., Wasilewska-Błaszczak M., 2013. – Opróbowanie złóż do badań chemicznych i jego dokumentowanie – oczekiwania i rzeczywistość. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2, Wrocław, 52–57.
- Mucha i in. 2003 – Mucha J., Słomka T., Mastej W., Bartuś T., Słomka E., 2003 – Geostatistical modeling and estimation of qualitative parameters of the Bełchatów lignite deposit. *Proc. of IAMG*, September, 7–12, 2003, Portsmouth, UK.
- Mucha i in. 2004 – Mucha J., Słomka T., Mastej W., Bartuś T., Jończyk W., Frankowski R., 2004 – Modelowanie zmienności i dokładność oszacowania parametrów jakościowych złoża węgla brunatnego Bełchatów (pole Bełchatów). *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, WUG, nr 5 (117), 14–15.
- Naworyta W., 2007 – Wpływ gęstości sieci rozpoznawczej na dokładność rozpoznania parametru złożowego z uwzględnieniem charakteru jego zmienności. *Górnictwo odkrywkowe* r. 49, nr 7, 46–51.
- Naworyta W., 2008 – Analiza zmienności parametrów złożowych węgla brunatnego pod kątem sterowania jakością strumienia urobku. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 2/4, IGSMiE PAN, Kraków, 98–110.
- Naworyta W., Mazurek S., 2010 – Zastosowanie parametru cenowego jako wstęp do projektowania zagospodarowania górniczego złóż węgla brunatnego. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, IGSMiE PAN, Kraków, 341–353.
- Naworyta W., Benndorf J., 2011 – Studium porównawcze metod modelowania geostatystycznego na przykładzie jednego ze złóż węgla brunatnego. *Górnictwo odkrywkowe* r. 52, nr 1–2, 37–45.
- Naworyta W., Benndorf J., 2012 – Ocena dokładności geostatystycznych metod modelowania złóż pod kątem projektowania eksploatacji na podstawie jednego ze złóż węgla brunatnego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 28, z. 1, IGSMiE PAN, Kraków, 77–101.
- Naworyta W., Mazurek S., 2007 – Weryfikacja poprawności doboru gęstości sieci otworów rozpoznawczych dla określonego stopnia rozpoznania parametrów złoża z zastosowaniem metod geostatystycznych. *Górnictwo Odkrywkowe* r. 49, nr 5–6, 139–145.
- Naworyta W., Sypniewski S., 2013 – O problemie sterowania jakością strugi urobku w kopalniach węgla brunatnego w kontekście właściwego rozpoznania parametrów jakościowych złoża. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2, 58–65.
- Szufflicki i in., red. 2013 – Szufflicki M., Malon A., Tymiński M., red., 2013 – Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce według stanu na 31.12.2012 r., Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Yamamoto J.K., 2005 – Correcting the smoothing effect of ordinary kriging estimates. *Mathematical Geology*, Vol. 37, No. 1.

