



Wojciech NAWORYTA*, Sławomir MAZUREK**

Modelowanie cenowe złoża węgla brunatnego Gubin jako wstęp do właściwej gospodarki surowcowej

Streszczenie: W pracy przedstawiono podejście do złoża kopaliny jako dobra ekonomicznego umożliwiającego pozyskanie pieniądza w czasie, w procesie jego eksploatacji. Zaproponowano model cenowy złoża do wstępnej jego analizy pod kątem opłacalności eksploatacji, okonturowania zasobów przemysłowych, wyboru miejsca udostępnienia oraz sterowania wydobyciem w funkcji ceny kopaliny.

Wykorzystany do modelowania parametr cenowy jest wypadkową parametrów jakościowych i strukturalnych złoża, które mają wpływ na cenę kopaliny. Wzór na parametr cenowy dla modelowania złoża węgla brunatnego opracowano na podstawie zmodyfikowanej formuły cenowej wykorzystywanej do rozliczeń. W pracy przedstawiono 3 warianty parametru cenowego: C_j oparty na parametrach jakościowych, tj. wartość opałową Q , popielność A oraz zawartość siarki S . Do obliczania drugiego parametru C_m oprócz parametrów jakościowych włączono również miąższość pokładu węgla M . Parametry C_j i C_m mają charakter względny i odnoszą się do kopaliny w punkcie złoża. Trzeci parametr cenowy C_R , uwzględnia powierzchnię jednostkową i gęstość węgla i przedstawia realną cenę kopaliny w złożu wyrażoną w złotych.

Metodę modelowania cenowego zaprezentowano na przykładzie złoża węgla brunatnego Gubin. Analizowane złożo zajmuje czołowe miejsce w wielu rankingach pod kątem przydatności do zagospodarowania górniczego. Złożo zostało uwzględnione w Polityce energetycznej Polski do 2030 roku. Analizie poddano pokład II tego złoża. Przedstawiono w niej charakterystykę statystyczną parametrów Q , A , S , M oraz charakter ich zmienności w złożu. Do analizy zmienności przestrzennej parametrów wykorzystano metody geostatystyczne. Obliczone zostały wariogramy empiryczne każdego z parametrów, do których dopasowano właściwe modele. Zaprezentowano metodę wykonywania modeli cenowych. Bazując na obserwacjach z 625 otworów wiertniczych obliczono wartości parametrów C_j i C_m w punktach złoża. Na ich podstawie wykonano wariogramy i dopasowano modele. Na podstawie modeli wariogramów metodą kriginu punktowego wykonano modele cenowe parametrów C_j i C_m . Do modeli cenowych zostały wykonane mapy wiarygodności modeli oparte na odchyleniu standardowym kriginu. Zaproponowano sposób interpretacji modeli cenowych i map wiarygodności.

Słowa kluczowe: parametr cenowy, analiza złoża, węgiel brunatny, modelowanie złoża, zasoby przemysłowe

* Dr inż., Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH, e-mail: naworyta@agh.edu.pl

** Dr, KWB Konin w Kleczewie S.A., e-mail: sm@kwbkonin.pl

Price modelling of lignite deposit Gubin as an introduction for appropriate mineral resources management

Abstract: An approach to the mineral deposit as to resources of money, which can be extracted in the mining process, has been presented in the paper. The proposed price model of a deposit can be useful for the initial analysis of the deposit in terms of mining profitability, estimation of reserves, localization of an opening cut and steering of mineral extraction as a function of the commodity price.

The price parameter used for deposit modelling is calculated based on quality and structural parameters of the deposit, which affect the price of extracted commodity. The formula used to calculate the price parameter for modeling of lignite deposit has been elaborated based on a formula used for transaction between mine and power plant. In the paper, three types of price parameters are presented: C_j , C_m and C_R . The C_j parameter is calculated from quality parameters: caloric value Q , ash content A and sulfur content S . The C_m parameter includes the same quality parameters as C_j and additionally the thickness of lignite bed (M). Parameters C_j and C_m are relative parameters and relate to point of deposit. The third price parameter C_R includes additionally the area units and the density of lignite and presents real price of lignite in the bed expressed in zł.

Price modelling method has been presented on the case study of lignite deposit Gubin. The analyzed deposit is highly ranked as very suitable for future extraction and has been included in the Polish Energy Policy until 2030. In the paper only the second bed of the deposit was analyzed.

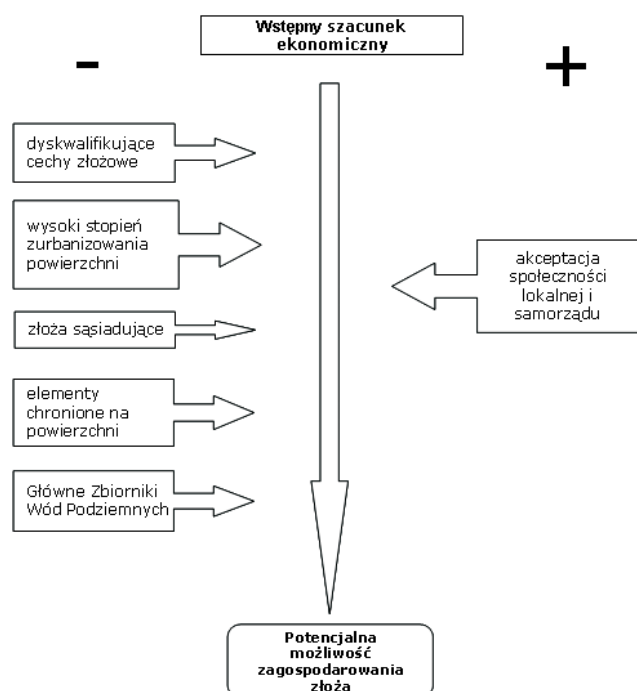
The deposit was described. Statistical characteristics of parameters Q , A , S and M and their variability within the deposit have been presented. Geostatistical tools were used for the analysis of spatial variability. Variograms for each considered parameter were calculated and presented. The values of parameters C_j and C_m were calculated using the data from 625 boreholes. Using these values, variograms were calculated and the appropriate models were developed. On the basis of the variogram models, the models of deposit were calculated using the kriging method (ordinary, point kriging). For each model, a kriging standard deviation map was also made. The method for interpretation of models and kriging standard deviation map was also presented.

Key words: price parameter, deposit analysis, lignite, deposit modelling, reserves estimation

Wprowadzenie

Firma istnieje po to, aby przynosić zysk. I złożę eksploatuje się po to, by eksploatacja przyniosła zysk przedsiębiorcy górnictwu. Chęć zysku niekoniecznie oznacza potrzebę eksploatacji wszystkich lub prawie wszystkich zasobów złoża. Wyznaczenie części zasobów przeznaczonych do wydobycia ma miejsce przy określaniu tzw. zasobów przemysłowych, przedstawianych przez przedsiębiorcę w Projekcie Zagospodarowania Złoża. Definiuje się w nim i porównuje ze sobą zasoby przeznaczone do eksploatacji z tzw. zasobami bilansowymi, czyli z góry określa się stopień wykorzystania złoża i jego zasobów. Wykonuje się to opierając się na przesłankach środowiskowych, infrastrukturalnych, geologiczno-górnictwowych i technicznych. Zdaniem autorów przy określaniu zasobów przemysłowych najpierw powinny być uwzględniane parametry ekonomiczne. Dopiero w drugiej fazie zasoby winny być zredukowane z uwzględnieniem pozostałych przesłanek i uwarunkowań, co przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

Po zweryfikowaniu zasobów złoża możliwych do ekonomicznie uzasadnionej eksploatacji należy się zastanowić, czym jest partia złoża przewidziana do górnictwa zagospodarowania? Z punktu widzenia przedsiębiorcy górnictwa nie powinna być niczym więcej jak tylko „zasobem pieniądza” do pozyskania w czasie, a nakłady inwestycyjne czy koszty eksploatacyjne – kosztem pozyskania pieniądza. Powyższe sformułowanie ma charakter świadomej prowokacji. Kontynuując, można by przetransformować zasoby złoża na wartość pieniężną według odpowiednio zdefiniowanej formuły i na tej podstawie dokonać mode-



Rys. 1. Graficzny schemat kolejności analizy dla wstępnej oceny możliwości zagospodarowania złoża
 Uwaga: Znak „minus” na rys. 1 oznacza występowanie czynników ograniczających możliwość zagospodarowania, znak „plus” – element wymagany

Fig. 1. Scheme of analyze sequence for initial estimation of deposit feasibility

lowania „złoża pieniężnego”. Przykład zastosowania takiego podejścia w wąskim tylko ujęciu zaprezentowano w niniejszej pracy na złożu węgla brunatnego Gubin. Wąskie ujęcie dotyczy samego modelowania cenowego w aspekcie relacji ze średnimi parametrami cenowymi złoża.

Szersze zastosowanie tej metody dla innych kopalni, nie tylko dla węgla brunatnego (Mazurek 1997/b; Uberman, Mazurek 1998) i nie tylko w relacji do średniej złożowej jest możliwe i powinno być stosowane dla sterowania wydobywaniem w funkcji strumienia pieniężnego, planowania eksploatacji, a nawet oceny ekonomicznej złoża, w szczególności definiowania granicy zasobów przemysłowych z uwzględnieniem wieloletnich fluktuacji cenowych kopaliny i zmiany granic zasobów przemysłowych wynikających z tego tytułu (Mazurek 2002).

1. Wybór złoża Gubin jako przedmiotu analizy

Złoże Gubin jako złożo duże, dotychczas niezagospodarowane i udokumentowane w kategorii C_2+C_1+B siatką regularnych otworów wydaje się być dobrym materiałem badawczym. Wyniki przedstawionych analiz mogą być pomocne przy próbie jego udostępnienia.

Zagospodarowanie górnicze tego złoża było przedmiotem prac studialnych już w latach osiemdziesiątych XX w. Przy uwzględnieniu różnych kryteriów złoża Gubin jawi się jako złożo bardzo atrakcyjne. Potwierdzają to liczne rankingi np.: ekspertyza Polskiej Akademii Nauk pt. „Określenie kolejności udostępnienia i kompleksowego wykorzystania złóż węgla brunatnego w Polsce” (Ney i in. 1983), ranking, w którym przyjęto kryteria ekonomiczne i sozologiczne (Piwocki, Kasiński 1994), kompleksowy ranking oparty na kryteriach geologicznych, górniczych, przestrzennych, przyrodniczych, ekonomicznych i społecznych (Kasiński, Mazurek, Piwocki 2006) oraz praca oparta na metodzie AHP (Uberman, Ostrega 2008). W wymienionych zestawieniach złożo Gubin zajmuje bardzo wysoką pozycję (Naworyta, Chodak 2010). W roku 2009 złożo Gubin zostało wpisane do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku” (Polityka... 2009), co potwierdza jego strategiczne znaczenie.

2. Charakterystyka złoża węgla brunatnego Gubin

Stosowane w pracy określenie „złożo Gubin” odnosi się do złoża węgla brunatnego na terenie gmin Gubin i Brody położonego w zakolu granicznej rzeki Nysa Łużycka, ograniczonego od północnego wschodu linią kolejową Lubsko-Gubin, a od południowego wschodu linią łączącą miejscowość Zasięki, Brody, Grodziszczę. Głębokie rynny erozyjne dzielą złożo węgla na cztery podstawowe obszary, tzw. pola – Strzegów, Mielno, Węgliny i Sadzarzewice.

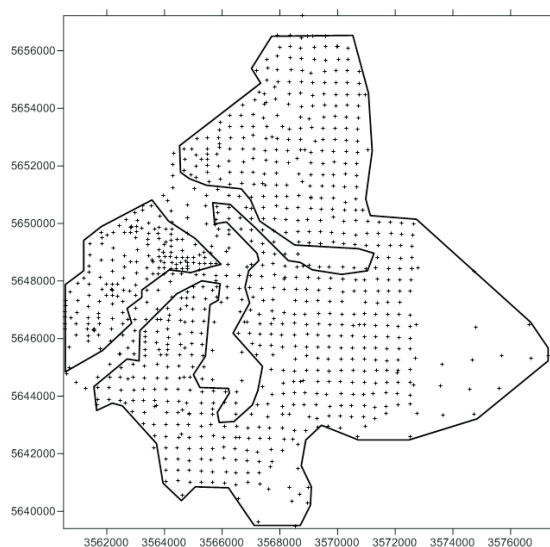
Wiedza na temat złoża bazuje na wynikach prac geologicznych wykonanych na przestrzeni prawie połowy wieku. Pierwsza dokumentacja (w kat. C₁) pochodzi z roku 1961. W roku 1969 wykonano „Kompleksową dokumentację geologiczną złoża Gubin w kat. C₂+C₁+B”. Na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. odwiercono szereg otworów, które potwierdziły przypuszczenia o faktycznej wielkości jego zasobów. W dodatku do dokumentacji geologicznej złoża Gubin wykonanym w 2009 r. zasoby bilansowe oszacowano na poziomie ponad 1,6 mld Mg (Dodatek... 2009).

Złożo Gubin należy do złóż pokładowych, nie jest zaburzone tektonicznie. Składa się z kilku pokładów, z których znaczenie przemysłowe mają pokład II i głębiej położony pokład IV. Średnia miąższość pokładu II waha się od 8 do 12 m. Grubość nadkładu zmienia się od 49,8 m do 110,7 m. Pokład IV o zmiennej miąższości od 1,6 do 25,5 m występuje we wschodniej i południowej części złoża na głębokości od 120 do 162 m p.p.t.

Węgla brunatne analizowanego złoża należy zaliczyć do bardzo dobrych węgla energetycznych. Średnia wartość opałowa waha się od 9180 kJ/kg do 9380 kJ/kg. Zawartość siarki całkowitej (w węglu w stanie suchym) w warstwach pokładu II waha się od 1,50% w polu Sadzarzewice do 1,92% w polu Mielno-Brzozów. W kilku otworach zawartość siarki całkowitej przekroczyła 4% (Dodatek... 2009).

Wielkość złoża i jego parametry jakościowe stwarzają podstawę dla projektowania zespołu górniczo-energetycznego, którego okres funkcjonowania w zależności od wielkości rocznego wydobycia mógłby wynosić od 60 do 80 lat.

Rysunek 2 ilustruje sieć otworów rozpoznawczych w granicach złoża Gubin. Granice na potrzeby niniejszego opracowania poprowadzono wzdłuż skrajnych otworów, w których stwierdzono występowanie węgla pokładu II. Powierzchnia terenu w określonych na rysunku 2 granicach wynosi 13 106,1 ha (131,0 km²).



Rys. 2. Rozmieszczenie otworów rozpoznawczych. Granicę wyznaczają linie poprowadzone po skrajnych otworach, w których stwierdzono występowanie węgla w pokładzie II

Fig. 2. Boreholes and the borders of deposit Gubin. The borders connect outer points where the lignite in the second bed was found

3. Analiza statystyczna i geostatystyczna parametrów złoża Gubin

Analizy przedstawione w niniejszej publikacji odnoszą się wyłącznie do pokładu II. Ze względu na cel, jakim jest zastosowanie parametrów cenowych do wstępnej analizy pod kątem przyszłego zagospodarowania, złożo analizowano w całości bez podziału na pola. Na rysunkach 3–6 przedstawiono histogramy miąższości pokładu II złoża Gubin oraz trzech parametrów jakościowych – wartości opalowej Q, popielności A oraz zawartości siarki S w węglu w stanie suchym. W przypadku zawartości siarki z dalszych analiz wyłączono 3 obserwacje, w których wielkość tego parametru przekracza 4%. Efekt tej operacji pokazano na rysunku 6.

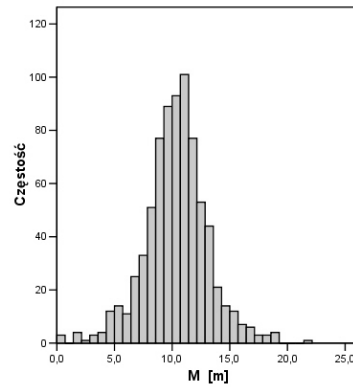
Przeanalizowano strukturę wymienionych cech za pomocą narzędzi geostatystycznych (Mucha 1994; Kozuła, Mazurek 1996; Naworyta 2006). Na rysunkach 7–10 przedstawiono wariogramy empiryczne wraz z dopasowanymi do nich modelami. Dla pełniejszej analizy zmienności parametrów złoża dołączono dwa dodatkowe wskaźniki: współczynnik zmienności (wzór 1) oraz wskaźnik udziału składnika nielosowego w całkowitej zmienności parametru U_n (wzór 2).

Współczynnik zmienności wyrażony jest wzorem:

$$v = \frac{s}{m} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

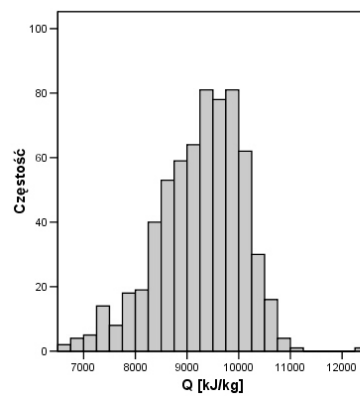
gdzie:

- s – odchylenie standardowe analizowanej cechy złoża,
- m – wartość średnia analizowanej cechy złoża.



Rys. 3. Histogram miąższości M pokładu II złoża Gubin

Fig. 3. Histogram of thickness M of second lignite bed of Gubin deposit



Rys. 4. Histogram wartości opalowej Q węgla pokładu II złoża Gubin

Fig. 4. Histogram of calorific value Q of lignite deposit Gubin (bed II)

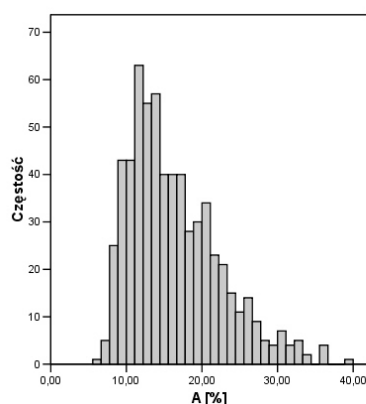
Wskazuje on na rozrzut analizowanej cechy w stosunku do wartości średniej. Jego niska wartość wskazuje na skupienie obserwacji przy wartości średniej, czyli statystycznie małą zmienność cechy.

Wskaźnik udziału składnika nielosowego U_n w zmienności parametru obliczono według wzoru:

$$U_n = \frac{w - w_0}{w} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

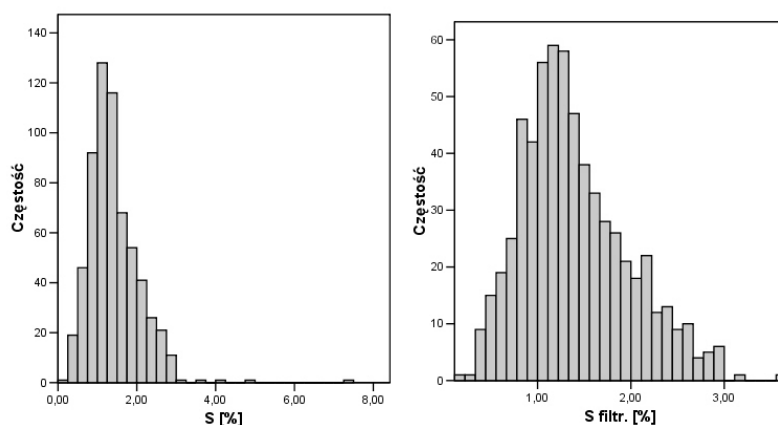
gdzie:

- w – wariancja analizowanej cechy,
- w_0 – wariancja lokalna (tzw. *nugget effect*) odczytana z modelu wariogramu (Mucha 1994).



Rys. 5. Histogram popielności węgla A pokładu II złoża Gubin

Fig. 5. Histogram of ash content A of lignite deposit Gubin (bed II)



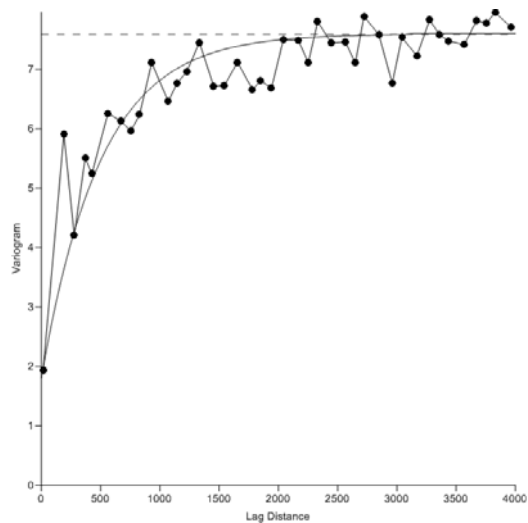
Rys. 6. Histogram zawartości siarki S w pokładzie II węgla złoża Gubin (z prawej wykres oczyszczony z trzech obserwacji, w których stwierdzono wartość $S > 4\%$)

Fig. 6. Histogram of sulfur content S in bed II of lignite deposit Gubin (right – histogram without 3 outliers with value $S > 4\%$)

Wskaźnik U_n zależny od wielkości wariancji lokalnej (w_0) wskazuje na stopień autokorelacji analizowanego parametru. Im wyższa jego wartość, tym większy jest udział składnika nielosowego w zmienności badanej cechy złoża.

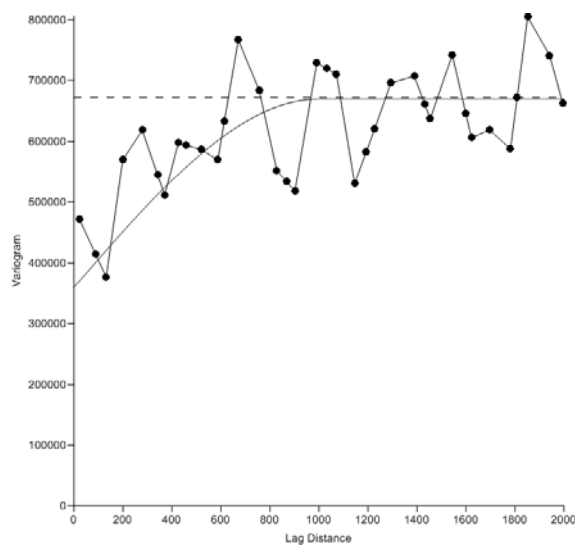
Podstawowe cechy statystyczne i wskaźniki opisujące strukturę parametrów złożowych zestawiono w tabeli 1.

Wśród analizowanych parametrów zawartość siarki wykazuje najwyższą zmienność w stosunku do średniej wyrażającą się wartością wskaźnika $v = 40,71\%$. Z kolei najwyższy udział składnika nielosowego w ogólnej zmienności (wysoki stopień autokorelacji) wykazuje miąższość złoża $M (U_n = 76,32)$, a najmniejszy popielność ($U_n = 21,63\%$). Charakterystyczny jest również rozkład popielności A zbliżony kształtem do rozkładu logarytmiczno-normalnego.



Rys. 7. Wariogram empiryczny miąższości M pokładu II złoża Gubin z dopasowanym modelem wykładniczym

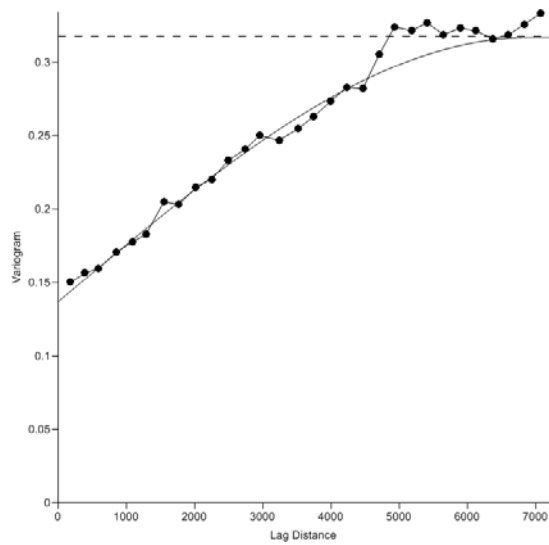
Fig. 7. Variogram of thickness M of bed II in lignite deposit Gubin with exponential model



Rys. 8. Wariogram empiryczny wartości opałowej Q węgla pokładu II złoża Gubin z dopasowanym modelem sferycznym

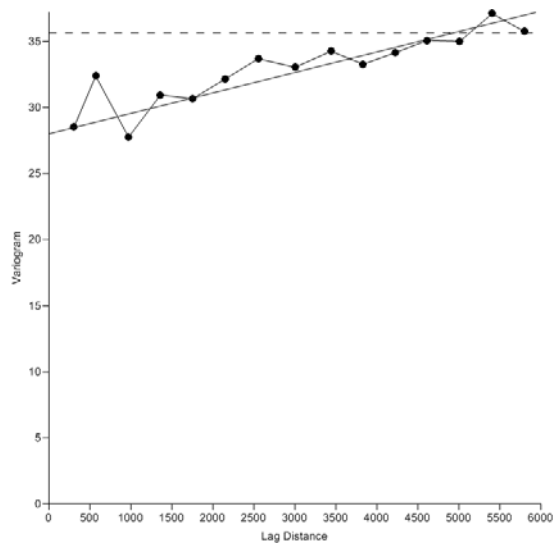
Fig. 8. Variogram of caloric value Q of Gubin lignite deposit (bed II) with spherical model

Obserwacje poczynione na podstawie analizy statystycznej i wariogramów potwierdzają tendencje obserwowane również na innych złożach (Naworyta 2008).



Rys. 9. Wariogram empiryczny zawartości siarki S w pokładzie II złoża Gubin z dopasowanym modelem sferycznym

Fig. 9. Variogram of sulfur content S in bed II of lignite deposit Gubin with spherical model



Rys. 10. Wariogram empiryczny popielności A węgla w pokładzie II złoża Gubin z dopasowanym modelem liniowym

Fig. 10. Variogram of ash content A in lignite deposit Gubin (bed II) with linear model

TABELA 1. Statystyczna i geostatystyczna charakterystyka wybranych parametrów pokładu II złoża Gubin

TABLE 1. Statistical and geostatistical characteristics of chosen parameters of lignite deposit Gubin (bed II)

	M [m]	Q [kJ/kg]	S [%]	A [%]	C_j	C_m
Ilość obserwacji n	766	640	625 (628)*	629	625	625
Minimum	0,7	6 503	0,13	6,53	0,57	0,25
Maksimum	22,0	12 312	3,63	39,68	1,29	2,03
Średnia μ	10,37	9 250	1,40	16,37	1,00	1,02
Mediana	10,40	9 350	1,30	14,79	1,01	1,02
Odchylenie standardowe s	2,76	820,8	0,57	5,98	0,14	0,26
Współczynnik zmienności v [%]	26,62	8,87	40,71	36,53	14,00	25,49
Wariancja w	7,6	673 681	0,33	35,73	0,019	0,068
Model wariogramu	wykładniczy	sferyczny	sferyczny	liniowy	sferyczny	sferyczny
w_0	1,8	360 000	0,137	28,0	0,0145	0,041
U_n [%]	76,32	46,56	58,48	21,63	26,68	39,71

*Wyłączono trzy obserwacje, dla których zawartość siarki przekraczała 4%

4. Modelowanie cenowe złoża

Ideą modelowania cenowego złoża jest zobrazowanie wpływu ważniejszych cenotwórczych parametrów kopaliny za pomocą mapy izoliniowej syntetycznego wskaźnika.

W pracy przedstawiono dwa parametry cenowe. Pierwszy – C_j jest funkcją trzech parametrów jakościowych złoża: wartości opałowej (Q), popielności (A) oraz zawartości siarki (S). Obrazuje on charakter zmienności jakości węgla w obrębie złoża. Drugi parametr cenowy C_m jest funkcją trzech parametrów jakościowych oraz miąższości analizowanego pokładu węgla (M). Zarówno C_j jak i C_m są to parametry względne. Ich konstrukcja bazuje na formułach stosowanych do rozliczeń przy transakcjach kupna-sprzedaży węgla brunatnego (Grudziński 1997). Wzory zostały dostosowane do właściwości złoża Gubin przez zastosowanie średnich wartości parametrów pokładu II tego złoża.

Formuła parametru cenowego w funkcji jakości kopaliny C_j ma postać:

$$C_j = C_0 \left(\frac{Q}{\mu(Q)} - \frac{A - \mu(A)}{180} - \frac{S - \mu(S)}{10} \right) [\text{zł/Mg}] \quad (3)$$

gdzie:

C_0 – cena bazowa, dla potrzeb opracowania przyjęto $C_0 = 1$ [zł/Mg],

Q – wartość opałowa węgla w punkcie złoża [kJ/kg],

A – popielność węgla w punkcie złoża [%],

S – zawartość siarki w punkcie złoża [%]

$\mu(Q)$, $\mu(A)$, $\mu(S)$ – wartości średnie parametrów w analizowanym pokładzie złoża.

Liczby 180 i 10 w mianownikach składników sumy mają charakter parametrów wagowych. Regulują one wpływ zmiany parametrów A i S na parametr cenowy C_j .

Wzór na parametr cenowy C_m w funkcji parametrów jakościowych i miąższości złoza ma postać:

$$C_m = C_j \cdot \frac{M}{10,37} \text{ [zł/Mg]} \quad (4)$$

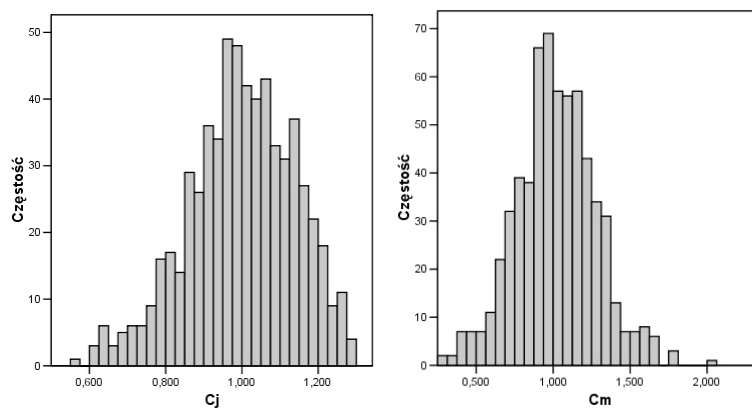
gdzie:

M – miąższość pokładu II złoza w punkcie [m].

Wielkość 10,37 w mianowniku wzoru (4) wyraża wartość średnią miąższości analizowanego pokładu węgla złoza Gubin.

W punktach złoza, w których oznaczone zostały wszystkie cztery parametry (Q , A , S i M), korzystając ze wzorów 3 i 4 obliczono wartość parametrów cenowych C_j i C_m . Przeanalizowano je pod względem statystycznym i wygenerowano wariogramy (rys. 11 i 12). Analogicznie jak w przypadku parametrów jakościowych w ostatnich dwóch kolumnach tabeli 1 zestawiono cechy statystyczne i geostatystyczne parametrów C_j i C_m .

Za pomocą wariogramów metodą kriginu (*ordinary kriging*) wygenerowano mapy izoliniowe zmienności parametru C_j i C_m (rys. 13 i 14 – z lewej). Z prawej strony na rysunkach 13 i 14 przedstawiono mapy rozkładu błędu predykcji (odchylenie standardowe kriginu).

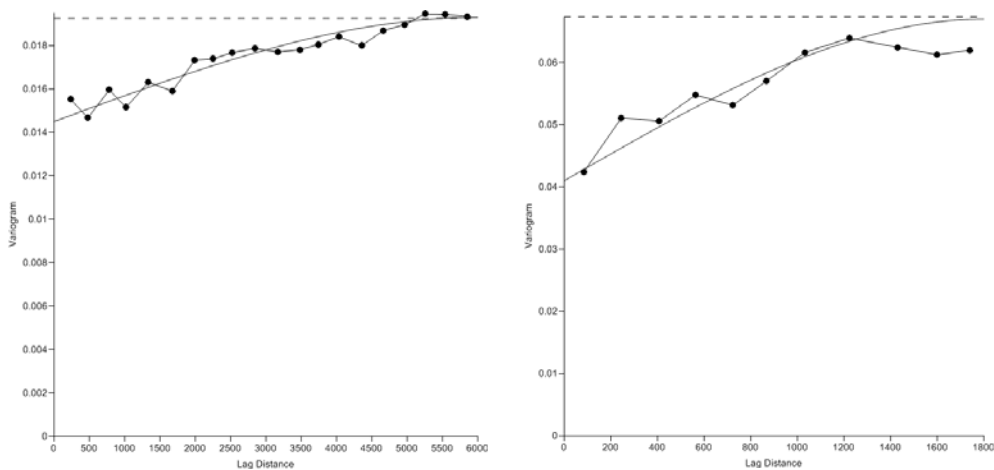


Rys. 11. Histogramy parametrów cenowych C_j (z lewej) i C_m (z prawej)

Fig. 11. Histograms of price parameters C_j (left) and C_m (right)

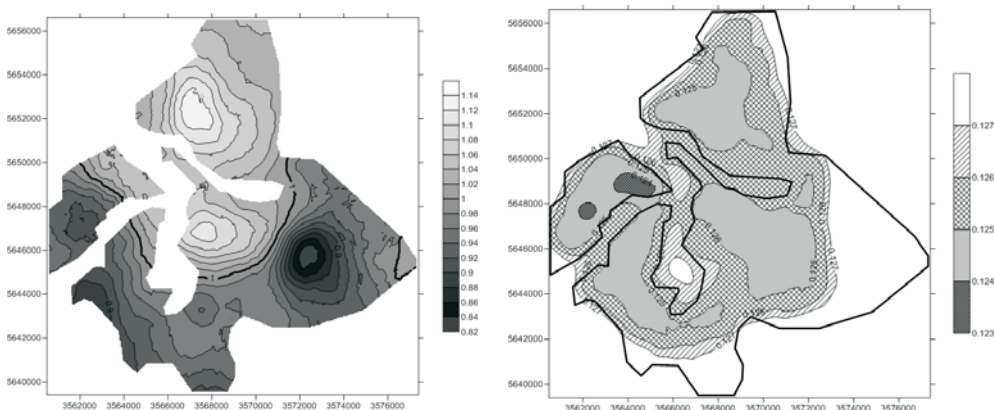
5. Interpretacja modeli cenowych złoza

Mapa zmienności parametru C_j w funkcji parametrów jakościowych pokazuje zmienność parametrów jakościowych węgla, które mają wpływ na jego cenę. Gdy parametry jakościowe wykazują wartości zbliżone do wartości średnich analizowanego pokładu węgla, to



Rys. 12. Wariogramy parametrów cenowych C_j (z lewej) i C_m (z prawej). W obydwu przypadkach dopasowano model sferyczny

Fig. 12. Variograms of price parameters C_j (left) and C_m (right) with spherical models

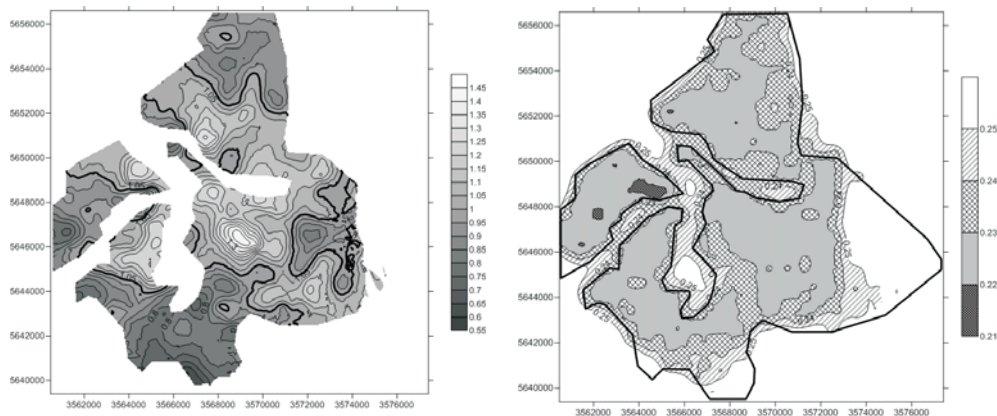


Rys. 13. Mapa parametru cenowego C_j wykonana metodą krigingu (po lewej) i mapa odchylenia standardowego krigingu na tle granic złoża (po prawej)

Fig. 13. Map of price parameter C_j made using kriging method (left) and map of standard deviation of kriging (right)

parametr cenowy C_j przyjmuje wartość bliską jedności ($C_j \approx 1$). Tym samym w miejscach, gdzie $C_j > 1$, cena kopaliny będzie wyższa niż wynegocjowana cena bazowa C_0 . Analogicznie, gdy $C_j < 1$, należy się spodziewać mniejszych wpływów ze sprzedaży węgla.

Na rysunku 13 (z lewej) grubszą linią pokazano przebieg izolinii $C_j = 1$. Izolinia ta oddziela partie złoża, w których parametry jakościowe mające wpływ na cenę są wyższe lub niższe od wartości średnich.



Rys. 14. Mapa parametru cenowego C_m wykonana metodą krigingu (po lewej) i mapa odchylenia standardowego krigingu na tle granic złoża (po prawej)

Fig. 14. Map of price parameter C_m made using kriging method (left) and map of standard deviation of kriging (right)

Mapa odchylenia standardowego krigingu parametru C_j (rys. 13 z prawej) pokazuje obszary wiarygodności mapy parametru C_j . Rozkład błędów zależy od gęstości sieci rozpoznawczej oraz od charakteru zmienności parametru C_j wyrażonego kształtem wariogramu (a raczej kształtem dopasowanego modelu do wariogramu empirycznego) dostarcza informacji na temat jakości predykcji parametru C_j w obszarze złoża. Pozwala przypisać stopień wiarygodności (określić obszary ufności) w poszczególnych miejscach mapy parametru C_j wykonanej metodą krigingu. Możliwość wygenerowania mapy błędów jest jedną z zalet metod geostatystycznych.

Model cenowy złoża z wykorzystaniem parametru C_m , przez włączenie względnej miąższości pokładu, stanowi informację – w jaki sposób na opłacalność eksploatacji złoża wpływa jego miąższość. Na podstawie jego analizy można uzyskać odpowiedź na pytanie: czy mimo niskiej jakości węgla w danej partii złoża przy wysokiej miąższości pokładu jego eksploatacja może być opłacalna albo odwrotnie: czy opłacalna jest eksploatacja fragmentu złoża, w którym parametry jakościowe wykazują wysokie wartości, ale miąższość pokładu jest niewielka. Pogrubiona izolinia na rysunku 14 (z lewej) łączy punkty złoża, w których parametr $C_m = 1$.

Mapy na rysunkach 13 i 14 znacznie różnią się między sobą. Na modelu C_m wyraźnie uwidacznia się wpływ miąższości pokładu na wartość kopaliny w złożu. W stosunku do mapy parametru C_j obszar najbardziej wartościowy na mapie parametru C_m „przesunął się” do centralnej części złoża.

Cena kopaliny obliczona na podstawie parametrów C_j czy C_m ma charakter względny i odnosi się do kopaliny w punkcie złoża. W punkcie, któremu nie sposób przypisać masę. Mapy rozkładu C_j i C_m ilustrują, jaki wpływ na cenę węgla mają, zmieniające się w obrębie złoża, jego parametry jakościowe. Należy podkreślić, że mapy te nie obrazują bezwzględnej ceny kopaliny w złożu.

W celu uzyskania informacji na temat realnej ceny kopaliny w odniesieniu do założonej jednostkowej powierzchni złoża należałoby formułę na wskaźnik C_m rozszerzyć o po-

wierzchnię jednostkową, gęstość węgla w złożu, oraz zastosować cenę bazową C_0 na rzeczywistym poziomie (Naworyta, Mazurek 2010). Formuła na parametr ceny rzeczywistej węgla w złożu C_R w odniesieniu do przyjętej powierzchni jednostkowej przyjmie wtedy postać:

$$C_R = C_j \cdot M \cdot P \cdot \rho \text{ [zł]} \quad (5)$$

gdzie:

- C_j – parametr cenowy w funkcji jakości węgla [zł/Mg],
- M – miąższość pokładu węgla [m],
- P – powierzchnia jednostkowa [m²],
- ρ – gęstość węgla w złożu [Mg/m³].

Model złoża wykonany przy użyciu parametru C_R może być podstawą do prognozowania strumieni pieniężnych generowanych w wyniku eksploatacji złoża. Wartości kopaliny w złożu jaką reprezentuje parametr C_R , nie należy jednak mylić z wartością samego złoża, dla oszacowania której stosuje się całkiem inne metody (Uberman, Uberman 2008).

W przyszłości model C_R może być również wykorzystany do obliczenia tzw. wartości użytkowej złoża dla potrzeb szacowania wysokości obowiązkowego wynagrodzenia za użytkowanie górnicze, co będzie konieczne w przypadku uchwalenia nowego Prawa geologicznego i górniczego (Uberman 2010).

Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowane modele cenowe mogą znaleźć szerokie zastosowanie na wstępnym etapie projektowania zagospodarowania górniczego złóż. Modele będące syntezą parametrów cenotwórczych ułatwiają interpretację zmienności jakości kopaliny w złożu. Ich wykorzystanie może znacząco ułatwić proces projektowania w takich obszarach jak: okonturowanie zasobów przemysłowych, wybór miejsca udostępnienia złoża, sterowanie eksploatacją w celu utrzymania stałych parametrów surowca, sterowanie wydobyciem w funkcji ceny kopaliny.

Na podstawie zaprezentowanego materiału można sformułować następujące wnioski:

1. Spośród analizowanych parametrów złoża Gubin największą zmiennością wyrażoną współczynnikiem zmienności v cechuje się zawartość siarki (40,71%) a najmniejszą wartość opałowa Q (8,87%).

2. Najwyższy stopień autokorelacji wyrażony wskaźnikiem udziału nielosowego w strukturze zmienności wykazuje miąższość pokładu M (76,32%). Wśród parametrów jakościowych największy udział składnika nielosowego wykazuje siarka S (58,48%), najniższy – popielność A (21,63%).

3. Parametr C_m wykazuje prawie dwukrotnie wyższą zmienność (25,49%) niż parametr cenowy C_j (14%).

4. W przedstawionym studium przypadku wariogramy parametrów C_j i C_m można aproksymować modelami typu sferycznego. W ich początkowym przebiegu, mającym znaczenie dla procedury krigingu, właściwy jest również model liniowy.

5. Parametr C_m wykazuje wyższy stopień autokorelacji wyrażony udziałem składnika nielosowego w strukturze zmienności niż parametr C_j .

6. Dzięki zastosowaniu krigingu do modelowania cenowego parametrów C_j i C_m oprócz informacji o zmienności tych parametrów w obszarze złoża uzyskuje się również informację na temat stopnia wiarygodności oszacowanych parametrów cenowych w każdym jego punkcie.

7. Formuły opracowane do obliczeń parametrów C_j , C_m i C_R bazują na zasadach wykorzystywanych wspólnie do rozliczeń w układzie kopalnia-elektrownia. W przedstawionym studium przypadku wzory zostały zmodyfikowane przez dostosowanie do właściwości złoża Gubin.

8. Parametry cenowe C_j i C_m są parametrami względnymi i jako takie służą do analizy zmienności parametrów cenotwórczych w obszarze złoża. Ich wartości odnoszą się do punktu złoża. Do oszacowania ceny kopaliny w odniesieniu do założonej jednostkowej powierzchni złoża zaproponowano wykorzystanie parametru ceny realnej C_R .

9. Parametr C_R wykorzystany do tworzenia modelu rzeczywistej ceny kopaliny w złożu może być zastosowany do prognozowania przepływu strumieni pieniężnych w trakcie eksploatacji kopaliny, a także do wyliczenia tzw. wartości użytkowej złoża. Wartość ta może być pomocna w procesie szacowania wysokości obowiązkowego wynagrodzenia za użytkowanie górnicze, co stanie się koniecznością w przypadku uchwalenia i wejścia w życie nowego Prawa geologicznego i górniczego.

Literatura

- Dodatek nr 1 do kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego „Gubin” w kat. C_2+C_1+B , Przedsiębiorstwo Geologiczne, Kraków, maj 2009.
- Grudziński Z., 1997 – Koncepcja systemu cen dla węgla brunatnego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 13, z. 3.
- Kasiński J.R., Mazurek S., Piwocki M., 2006 – Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* Nr CLXXXVII.
- Kompleksowa Dokumentacja Geologiczna złoża węgla brunatnego Gubin w kategorii C_2+C_1+B , Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Zjednoczenie Przemysłu Węgla Brunatnego we Wrocławiu, Wrocław 1969.
- 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.
- Mazurek S., 1997a – Cena kopaliny jako główny parametr złożowy. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 13, z. 1, s. 29–42.
- Mazurek S., 1997b – Zasoby przemysłowe kopaliny jako funkcja ceny kopaliny i kosztów wydobycia. *Górnictwo Odkrywkowe* XXXIX, 3, s. 115–124.
- Mazurek S., 2002 – Wartość rynkowa zasobów złóż węgla brunatnego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 18, z. spec.
- Mucha J., 1994 – Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. *Katedra Geologii Kopalnianej AGH, Kraków*.
- Naworyta W., 2006 – Analiza i modelowanie danych geologicznych z wykorzystaniem narzędzi geostatystycznych dla celów projektowania górniczego. *Górnictwo Odkrywkowe*, R. 48, nr 1–2, s. 76–81.
- Naworyta W., 2008 – Analiza zmienności parametrów złożowych węgla brunatnego pod kątem sterowania jakością strumienia urobku. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 2/4, s. 97–110.
- Naworyta W., Chodak M., 2010 – Analiza możliwości zagospodarowania złóż węgla brunatnego w rejonie Gubina ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań lokalnych (przyrodniczych, społecznych, kulturowych). *Zesz. Nauk. Uniwersytetu Zielonogórskiego* Nr 137, Seria: Inżynieria Środowiska – 17, s. 45–55.

- Naworyta W., Mazurek S., 2010 – Zastosowanie parametru cenowego jako wstęp do projektowania zagospodarowania górnictwa złóż węgla brunatnego. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2.
- Ney R. (red.), 1983 – Określenie kolejności udostępniania i kompleksowego wykorzystania złóż węgla brunatnego w Polsce. Polska Akademia Nauk. Komitet Gospodarki Surowcami Mineralnymi, Kraków.
- Piwocki M., Kasiński J.R., 1994 – Mapa waloryzacji ekonomiczno-środowiskowej złóż węgla brunatnego w Polsce. Wydawnictwo PIG, Warszawa.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r. Warszawa.
- Uberman R., 2010 – Prawo własności i wartość złóż węgla brunatnego. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2.
- Uberman R., Mazurek S., 1998 – Wykorzystanie wartości kopaliny jako parametru złożowego do wyznaczania granic eksploatacji w kopalniach węgla brunatnego. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* Nr 82, Konferencje Nr 21.
- Uberman R., Ostrega A., 2008 – Wykorzystanie metody Analitycznego Procesu Hierarchicznego dla waloryzacji (rankingu) polskich złóż węgla brunatnego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 2/4, s. 73–95.
- Uberman Ryszard, Uberman Robert, 2008 – Podstawy wyceny wartości złóż kopaliny. Teoria i praktyka, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.