

O PROBLEMIE STEROWANIA JAKOŚCIĄ STRUGI UROBKU W KOPALNIACH WĘGLA BRUNATNEGO W KONTEKŚCIE WŁAŚCIWEGO ROZPOZNANIA PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH ZŁOŻA

ABOUT THE PROBLEM OF LIGNITE STREAM QUALITY CONTROL IN THE CONTEXT OF PROPER IDENTIFICATION OF DEPOSIT'S QUALITY PARAMETERS

Wojciech Naworyta - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Szymon Sypniewski - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Artykuł dotyczy problemu sterowania jakością strumienia urobku w kopalniach węgla brunatnego. Przedstawiono ideę systemu sterowania i jego etapy. Omówiono zróżnicowanie oraz możliwości zarządzania jakością węgla w polskich kompleksach górniczo-energetycznych opartych na węglu brunatnym. Przedstawiono ograniczenia geologiczne i górnicze dla tego procesu. Zwrócono uwagę na właściwe rozpoznanie zmienności parametrów złoża jako podstawę dla systemu zarządzania jakością strumienia urobku. Dla zilustrowania problemu, na podstawie jednego ze złóż, przedstawiono analizę przydatności danych z dokumentacji geologicznej do długoterminowego planowania eksploatacji. Na potrzeby analiz wykonano modele blokowe wartości opałowej węgla Q [kJ/kg] z wykorzystaniem metody krigingu oraz symulacji geostatystycznej. Wykonane prognozy średniej wartości opałowej dla czterdziestu jednomiesięcznych etapów eksploatacji porównano z prognozą wykonaną na podstawie rozpoznania eksploatacyjnego wykonywanego na bieżąco w miarę postępów frontów nadkładowych. Stwierdzono znaczące rozbieżności pomiędzy prognozowanymi wielkościami na podstawie dwóch rodzajów danych źródłowych. Wykazano, że planowanie długoterminowe w oparciu o dokumentację geologiczną obciążone jest dużym stopniem niepewności. Prognozy jakości wymagają uściślenia na etapie planowania średnio- i krótkoterminowego.

Słowa kluczowe: węgiel brunatny, modelowanie złoża, sterowanie jakością strumienia urobku

The article concerns the problem of output stream quality control in lignite mines. The idea of a quality control system and its stages have been presented. The variability and the possibilities for managing quality of the winning in Polish mining and energy complexes basing on lignite have been discussed. Geological and mining constraints for this process have been presented. Particular attention has been paid to proper identification of variability of deposit's parameters as a basis for the system of output stream quality control. In order to depict the problem, an analysis of usefulness of data from the geological documentation for long-term mine planning has been conducted for a lignite deposit. Block models of calorific value Q [kJ/kg] prepared with the use of kriging method and geostatistical simulation have been prepared for the purposes of the analysis. The conducted prognoses of average calorific value for forty monthly periods of mining were compared with the prognosis created on the basis of mining exploration conducted simultaneously with gradual advance of overburden faces. Significant discrepancies between the predicted values have been found in both sources of data. It has been indicated that the long-term planning basing on the geological documentation is burdened with large degree of uncertainty. The prognoses of quality require verification during the middle- and short-term planning stage.

Key words: lignite, deposit modeling, output stream quality control

Wstęp

Produkcja energii elektrycznej w nowoczesnych elektrowniach opartych na spalaniu paliw kopalnych wymaga dostarczania surowca o określonych i relatywnie stabilnych parametrach jakościowych. W przypadku złóż węgla brunatnego zmienność przestrzenna parametrów jest dość duża. Pod względem kryterium zmienności złoża węgla brunatnego można zaklasyfikować

do II grupy złóż. Współczynnik zmienności v [%] zdefiniowany jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej podstawowych parametrów przeważnie mieści się w przedziale od 30% do 60%. Wyjątek stanowi wartość opałowa węgla, która na tle innych parametrów wykazuje stosunkowo niską zmienność. W tabeli 1 zestawiono współczynniki zmienności v wybranych parametrów strukturalnych i jakościowych przykładowych polskich złóż węgla brunatnego.

Tab. 1. Współczynniki zmienności v [%] parametrów strukturalnych i jakościowych wybranych złóż węgla brunatnego (na podstawie dokumentacji geologicznej złóż)Tab. 1. Variability coefficients v [%] of structural and quality parameters for selected lignite deposits (as indicated in geological documentations of the deposits)

	Pątnów IV	Drzewce	Tomisławice	Głowaczów	Jastrzębia	Gubin
M [m]	43,4	31,9	51,3	53,2	47,1	26,6
Q [kJ/kg]	16,05	15,0	10,53	15,5	9,4	8,9
A [%]	44,9	35,47	66,47	29,7	21,0	36,5
S [%]	23,8	35,0	60,8	25,0	31,2	40,7

Dla utrzymania stabilnych parametrów surowca podejmuje się celowe działania określone mianem zarządzania jakością strumienia urobku. Proces ten zaczyna się praktycznie wraz z dokumentowaniem złoża i realizuje do czasu zakończenia eksploatacji [11]. Składa się z trzech podstawowych etapów:

1. Rozpoznanie i modelowanie złoża
 - a. Rozpoznanie i analiza jakości
 - b. Modelowanie zmienności parametrów jakościowych złoża
2. Planowanie eksploatacji (planowanie długoterminowe)
 - a. Określenie miejsca udostępnienia złoża,
 - b. Określenie kierunków i postępów eksploatacji w czasie
3. Eksploatacja i kontrola (planowanie operacyjne)
 - a. Planowanie zadań maszyn podstawowych
 - b. Analiza jakości urobku
 - c. Transport
 - d. Składowanie i homogenizacja urobku

Każdy ośrodek produkcji energii elektrycznej w oparciu o węgiel brunatny cechuje się innym systemem sterowania jakością [2, 6, 7]. Różnice wynikają ze struktury kopalni, jak również z właściwości samych złóż. Ośrodki produkcji energii na węglu brunatnym funkcjonują w różnych układach np. jedno złożo – jedna elektrownia, kilka złóż – jedna elektrownia, kilka złóż – kilka elektrowni. W każdym z tych ośrodków zarządzanie jakością surowca realizuje się w inny sposób.

W przypadku polskich ośrodków górniczo-energetycznych funkcjonują różne modele. W Kopalni Bełchatów, węgiel wydobywa się w dwóch odkrywkach, w których ze względu na wyjątkową, na tle innych złóż, miąższość pokładów uwzględnia się nie tylko zmienność poziomą jakości węgla, ale również zmienność pionową w profilu złoża. Eksploatacja czterech pięter złoża w dwóch wyrobiskach stwarza szerokie możliwości sterowania jakością dostarczanego węgla do jednej elektrowni [1]. W Kopalni Turów, na skomplikowanym pod względem budowy geologicznej złożu, eksploatację prowadzi się na kilku pokładach, które różnią się głębokością zalegania, wiekiem i jakością węgla [5]. W Kopalni Konin, eksploatuje się węgiel w kilku wyrobiskach jednocześnie. Przy niewielkiej miąższości pokładów uwzględnia się przede wszystkim poziome zróżnicowanie parametrów jakościowych. Rozróżnianie podpięter w pokładzie węgla pod względem jego jakości raczej mija się z celem i nie ma większego znaczenia dla sterowania jakością strugi urobku. Utrzymanie jakości węgla na żądanym poziomie wymaga jednak koordynacji dostaw węgla z kilku źródeł jednocześnie [12].

Ograniczenia dla zarządzania jakością strugi wydobytego węgla

Zarządzanie jakością strugi urobku jest ograniczone wieloma czynnikami – geologicznymi, górniczymi, środowiskowymi.

Na etapie planowania długoterminowego trudności wynikają z dokładności rozpoznania parametrów złoża, charakterystycznej dla fazy dokumentowania. Model złoża wykonany na podstawie rozpoznania geologicznego z natury rzeczy jest obarczony błędami. Błędy mają swoje źródło przede wszystkim w dyskretnym charakterze rozpoznania złoża, w niedoskonałości materiałów źródłowych, jak również w samym procesie modelowania. O niedoskonałości modeli, na podstawie których wykonuje się projekty górnicze świadczy konieczność ich częstej weryfikacji w trakcie prowadzenia eksploatacji, w miarę jak pozyskiwana jest nowa informacja o złożu [3].

Na etapie projektowania eksploatacji dokonuje się wyboru miejsca udostępnienia złoża, kierunków i postępów eksploatacji. Przy podejmowaniu tych decyzji utrzymanie stałych parametrów wydobywanego węgla ma znaczenie raczej komplementarne. Przeważają kryteria technologiczno-ekonomiczne. Poza tym wybór miejsca udostępnienia i kierunków eksploatacji jest bardzo mocno ograniczony przede wszystkim samym kształtem złoża (np. Bełchatów, Drzewce, Tomisławice).

Eksploatacja węgla brunatnego wiąże się z systematycznym postępowaniem frontów nadkładowo-węglowych. Mobilność maszyn podstawowych w układzie KTZ jest ograniczona, trudno w sposób elastyczny wybierać żadaną partię złoża.

Ograniczenia na etapie eksploatacji wynikają również z wielkości bloków eksploatacyjnych, którym przypisuje się określone cechy jakościowe. Do bloku, w którym może zawierać się ok. 6000 Mg węgla, przypisuje się parametry jakościowe na podstawie otworów wykonywanych po zdjęciu nadkładu w zagęszczonych siatce np. 50 x 50 m. Przy tak gęstej sieci otworów na jeden blok eksploatacyjny przypada co najwyżej jeden otwór. Oczywiście jest, że w tak dużej masie węgiel nie jest jednorodny i mają miejsce odchylenia od pomierzonych w otworze wartości parametrów jakościowych. Dokładniejsze rozpoznanie jednak nie ma uzasadnienia ekonomicznego [8].

Przy użyciu transportu kolejowego – jak to ma miejsce np. w Kopalniach Konin, Adamów czy w Zagłębiu Nadreńskim – na pojedynczy blok eksploatacyjny składa się kilkanaście składów pociągów, w obrębie których węgiel również cechuje się pewnym zróżnicowaniem.

Natomiast ograniczeniem ostatniego ogniwa procesu zarządzania jakością węgla dostarczanego do elektrowni, czyli homogenizacji, jest zwykle niewielka pojemność placu składowego. Ze względu na ilość węgla brunatnego, jaką spalają elektrownie nie jest zasadne gromadzenie na placach homogenizacyjnych większych zapasów surowca niż takie, które zapewnią bezpieczną pracę elektrowni przez okres kilku dni.

Niezależnie od struktury i organizacji kopalni, punktem wyjścia do zarządzania jakością węgla jest właściwe rozpoznanie parametrów jakościowych i strukturalnych złoża.

W artykule przedstawiono wyłącznie jeden z początkowych etapów zarządzania jakością strugi węgla – planowanie

długoterminowe związane z projektowaniem eksploatacji złoża w oparciu o informację z dokumentacji geologicznej.

Cel analiz

Na przykładzie wyeksploatowanego już złoża węgla brunatnego w zagłębiu konińskim, przeanalizowano zmiany jakości węgla w czterdziestu jednomiesięcznych okresach przy założonym jednakowym wydobywaniu w jednostce czasu. Analizowane złożo było jednym z trzech, których równoległa eksploatacja umożliwiała dostawę węgla do odbiorców w żądanej ilości. Rozpoznanie zmienności parametrów jakościowych na tle postępów frontów wydobywczych miało znaczenie dla koordynacji eksploatacji w pozostałych odkrywkach w celu uzyskania żądanych parametrów wypadkowej strugi węgla. Planowanie jakości w okresie niecałych 4 lat eksploatacji przeprowadzono w oparciu o dane z dokumentacji geologicznej czyli takie, jakie projektant miał do dyspozycji na etapie planowania długoterminowego.

Wyniki planowania długoterminowego dla porównania zestawiono z wartościami opartymi o informację z rozpoznania eksploatacyjnego.

Głównym celem prowadzonych analiz było sprawdzenie przydatności dokumentacji geologicznej dla procesu długoterminowego sterowania jakością węgla. Ponieważ wcześniejsze analizy wykonane dla tego samego złoża wskazywały na znaczące rozbieżności pomiędzy modelami wykonanymi na podstawie dokumentacji geologicznej (DG) i rozpoznania eksploatacyjnego (E) z praktycznego punktu widzenia interesujące było określenie jaki jest realny wpływ tych odchyleń na jakość urobku w zaprojektowanych okresach eksploatacji złoża [9].

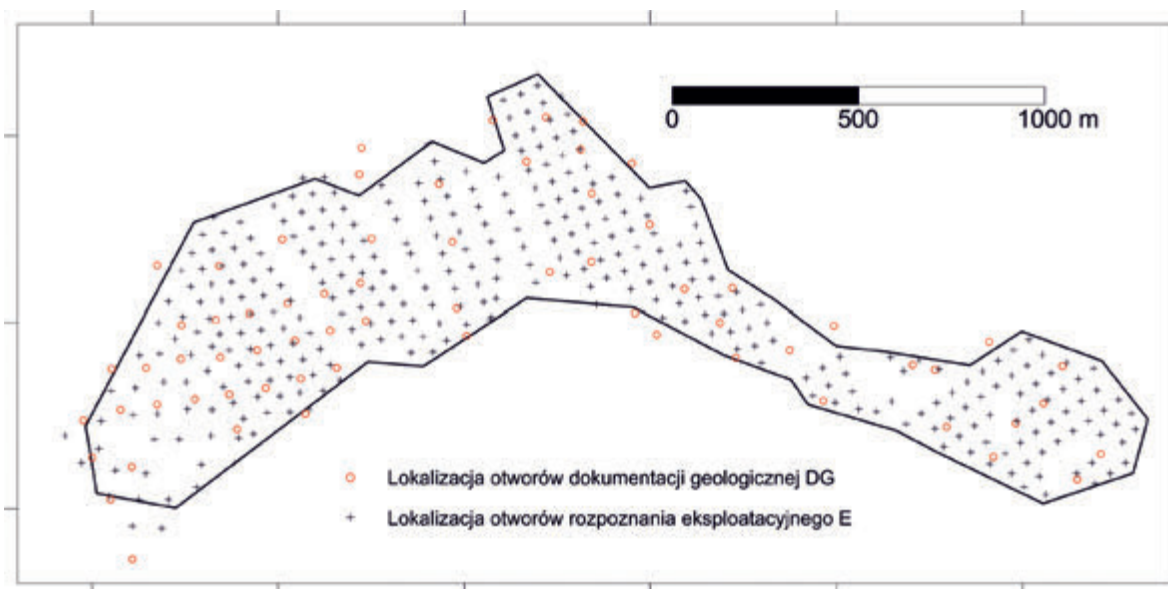
Wybór priorytetowego parametru węgla dla procesu sterowania jakością

Parametry jakościowe wpływające na proces spalania, efektywność wytwarzania energii, jak również na cenę węgla cechują się różnym stopniem i typem zmienności w obrębie

złoża (tab. 1). Jednym z istotniejszych, który stanowi o ilości energii jaką można wyprodukować z jednostki masy węgla jest wartość opałowa Q [kJ/kg]. Zmienność tego parametru jest odwrotnie skorelowana z popielnością węgla A [%]. Zawartość siarki albo piasku w węglu nie wykazuje korelacji z przebiegiem innych parametrów [8]. Ze względu na niezależną zmienność parametrów jakościowych, dla zarządzania jakością węgla konieczny jest wybór tego jednego, który będzie miał znaczenie priorytetowe. Biorąc pod uwagę efektywność procesu produkcji energii takim parametrem może być właśnie wartość opałowa. Nie jest to jednak oczywiste. W kopalniach ze względu na umowy handlowe mogą być uwzględniane również inne parametry, których utrzymanie na właściwym poziomie będzie stanowiło o opłacalności procesu wydobywania np. zawartość siarki albo zawartość krzemionki. Obecność siarki w węglu powoduje konieczność odsiarczania spalin w elektrowni. Wzmoczona intensywność tego procesu związana z dużym zasiarzeniem węgla i wysokim zapotrzebowaniem na sorbent (np. CaCO_3 , CaO) podnosi koszty procesu wytwarzania energii. Ponadnormatywna zawartość krzemionki w węglu powoduje szybkie zużywanie się elementów kotła i elementów układu nawęglania elektrowni. Poza wymienionymi kluczowymi parametrami w węglu analizuje się również inne tj. związki żelaza, sodu, potasu. Każdy z parametrów cechuje się swoją i niezależną zmiennością w złożu. Dlatego wybór tego najważniejszego ma znaczenie kluczowe dla procesu sterowania jakością strugi urobku.

Rozwiązaniem kompromisowym może być zastosowanie parametrów syntetycznych, które poprzez przyjęty algorytm wiążą kilka parametrów jakościowych. Propozycję zastosowania parametrów syntetycznych przedstawiono w pracy [10].

W niniejszym artykule dla zarządzania jakością strugi urobku przyjęto wartość opałową węgla Q [kJ/kg]. Nowoczesne elektrownie projektowane są na paliwo o ograniczonej zmienności tego parametru. Podanie do kotła węgla o zbyt niskiej wartości opałowej może pociągać konieczność dodawania mazutu dla utrzymania temperatury procesu. Spalanie węgla o zbyt wysokiej wartości opałowej również nie jest korzystne,



Rys. 1. Lokalizacja otworów rozpoznawczych dokumentacji geologicznej (DG) i otworów rozpoznania eksploatacyjnego (E) na tle projektowych granic eksploatacji złoża

Fig. 1. Location of the exploration drillholes from the geological documentation (DG – red circles) and the drillholes from mining exploration (E – crosses) against the background of designed area of mining

może prowadzić do strat niewykorzystanego ciepła oraz przyspiesza zużycie elementów kotła [13].

Materiał pomiarowy

Analizy zostały wykonane na podstawie danych pomiarowych wykonanych na wyeksploatowanym złożu węgla brunatnego w regionie konińskim. Jednopokładowe złożo rozciąga się na długości ok. 2,5 km w kierunku W-E oraz ok. 1 km w kierunku N-S. W prezentowanej analizie wykorzystano informacje o miąższości pokładu M , [m] oraz o wartości opałowej Q , [kJ/kg] węgla w stanie roboczym. Wykorzystano dwa zestawy danych pozyskane na etapie rozpoznania geologicznego (DG) i na etapie eksploatacji (E). Na rys. 1 przedstawiono rozmieszczenie otworów rozpoznawczych w dwóch fazach opróbowania. W przypadku pomiarów służących wykonaniu dokumentacji geologicznej (DG) odwiercono otwory oddalone od siebie średnio o odległość 160 m. Otwory rozpoznania eksploatacyjnego (E) zostały wykonywane w miarę postępu zdejmowania nadkładu, średnio co 50 m. Drugi zestaw danych posłużył jako podstawa do wykonania modelu referencyjnego.

W tabeli 2 zestawiono podstawowe dane statystyczne materiału pomiarowego w dwóch wersjach opróbowania złoża dla wartości opałowej Q i miąższości M . W tabeli 3 zestawiono cechy modeli wariogramów tych parametrów. Modele wariogramów zostały wykorzystane w procesie modelowania parametrów złoża metodą kriginu oraz symulacji geostatystycznej. Zastosowano złożony model sferyczny. Ze względu na słabą anizotropię analizowanych parametrów złoża przyjęto wariogramy izotropowe nie uwzględniające zmienności kierunkowej.

Metoda analiz

W oparciu o materiał z rozpoznania eksploatacyjnego (E) metodą kriginu wykonano model miąższości złoża (rys.

2). Na podstawie modelu wyznaczono kontury miesięcznych postępów eksploatacji przyjmując wydobywanie na stałym poziomie 200 tys. Mg/m-c [4]. Przy takim założeniu wyznaczono 40 obszarów odpowiadających miesięcznym postęmom frontów eksploatacyjnych. Oczywiście w rzeczywistości na etapie projektowania eksploatacji dla wyznaczenia postępów projektant miał do dyspozycji wyłącznie model wykonany w oparciu o dokumentację geologiczną (DG), czyli informację znacznie uboższą niż rozpoznanie eksploatacyjne. Tu celowo wykorzystano dane eksploatacyjne po to, aby uniknąć wpływu błędów oszacowania ilości węgla w poszczególnych miesiącach na ocenę średniej wartości opałowej. Przy zmiennej miąższości złoża kontury odpowiadające kolejnym miesiącom eksploatacji obejmują obszar o powierzchni od 2,51 do 4,41 ha (rys. 2). Na modelu miąższości pokładu węgla widoczna jest lokalna anizotropia zmienności tego parametru, jednak wariogram wykonany w oparciu o dane z 352 otworów nie wykazywał na tyle wyraźnej zmienności kierunkowej, aby konieczne było uwzględnienie anizotropii na etapie modelowania. W tabeli 3 zestawiono parametry wariogramu wykorzystanego do modelowania złoża metodą kriginu.

W kolejnym kroku na podstawie danych z dokumentacji geologicznej (DG) wykonano modele zmienności wartości opałowej metodą kriginu blokowego oraz metodą geostatystycznej symulacji warunkowej Gaussa. Procedura ta bazuje na idei symulacji Monte-Carlo. W oparciu o dostępne obserwacje poczynione na złożu oraz liczby losowe symulacja pozwala wygenerować dowolną ilość modeli (zwaną dalej realizacjami). Realizacje są niepowtarzalne i jednocześnie charakteryzują się jednakowym prawdopodobieństwem co do reprezentowania prawdziwego złoża. Wszystkie realizacje wiernie oddają wartości w punktach obserwacyjnych. W odróżnieniu od kriginu zwyczajnego realizacje będące wynikiem symulacji oddają w sposób dokładny statystyczne i strukturalne cechy modelowanych parametrów np. rozkład gęstości i przestrzenną zmienność. Lokalne różnice pomiędzy poszczególnymi reali-

Tab. 2. Charakterystyka statystyczna wartości opałowej Q i miąższości pokładu węgla M w dwóch zestawach pomiarowych DG i E

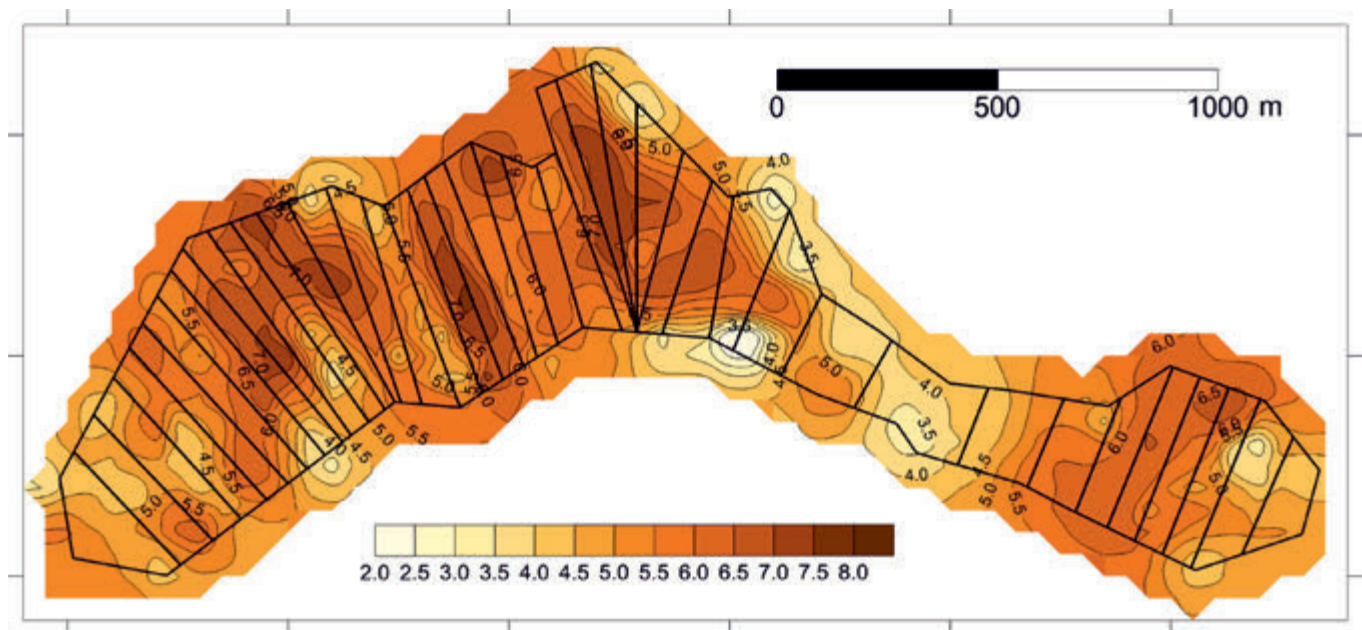
Tab. 2. Statistical characteristics of calorific value Q and seam's thickness M in two sets of data (DG and E)

	Wartość opałowa Q (DG)	Wartość opałowa węgla Q (E)	Miąższość złoża M (DG)	Miąższość złoża M (E)
Ilość danych N	67	352	67	352
Średnia	8,70 [MJ/kg]	8,28 [MJ/kg]	5,73 [m]	5,60 [m]
Odchylenie standardowe	1,31 [MJ/kg]	0,56 [MJ/kg]	1,83 [m]	1,22 [m]
Wariancja	1,72 [MJ ² /kg ²]	0,32 [MJ ² /kg ²]	3,35 [m ²]	1,50 [m ²]
Minimum	2,91 [MJ/kg]	5,07 [MJ/kg]	2,0 [m]	1,5 [m]
Maksimum	10,75 [MJ/kg]	9,46 [MJ/kg]	9,0 [m]	7,5 [m]

Tab. 3. Cechy modeli wariogramów wartości opałowej Q i miąższości pokładu węgla M w dwóch zestawach pomiarowych DG i E

Tab. 3. The features of model variograms for calorific value Q and seam thickness M in two sets of data (DG and E)

	Wartość opałowa Q (DG)	Wartość opałowa węgla Q (E)	Miąższość złoża M (DG)	Miąższość złoża M (E)
Model wariogramu	Sferyczny złożony	Sferyczny złożony	Sferyczny złożony	Sferyczny złożony
Wariancja lokalna	0,70 [MJ/kg]	0,18 [MJ/kg]	0,5 [m]	0,04 [m]
Skala i zasięg modelu 1	0,50 [MJ ² /kg ²] 510 [m]	0,15 [MJ ² /kg ²] 620 [m]	1,3 [m ²] 135 [m]	0,9 [m ²] 160 [m]
Skala i zasięg modelu 2	0,75 [MJ ² /kg ²] 1 500 [m]	0,10 [MJ ² /kg ²] 1 900 [m]	1,5 [m ²] 650 [m]	0,55 [m ²] 400 [m]



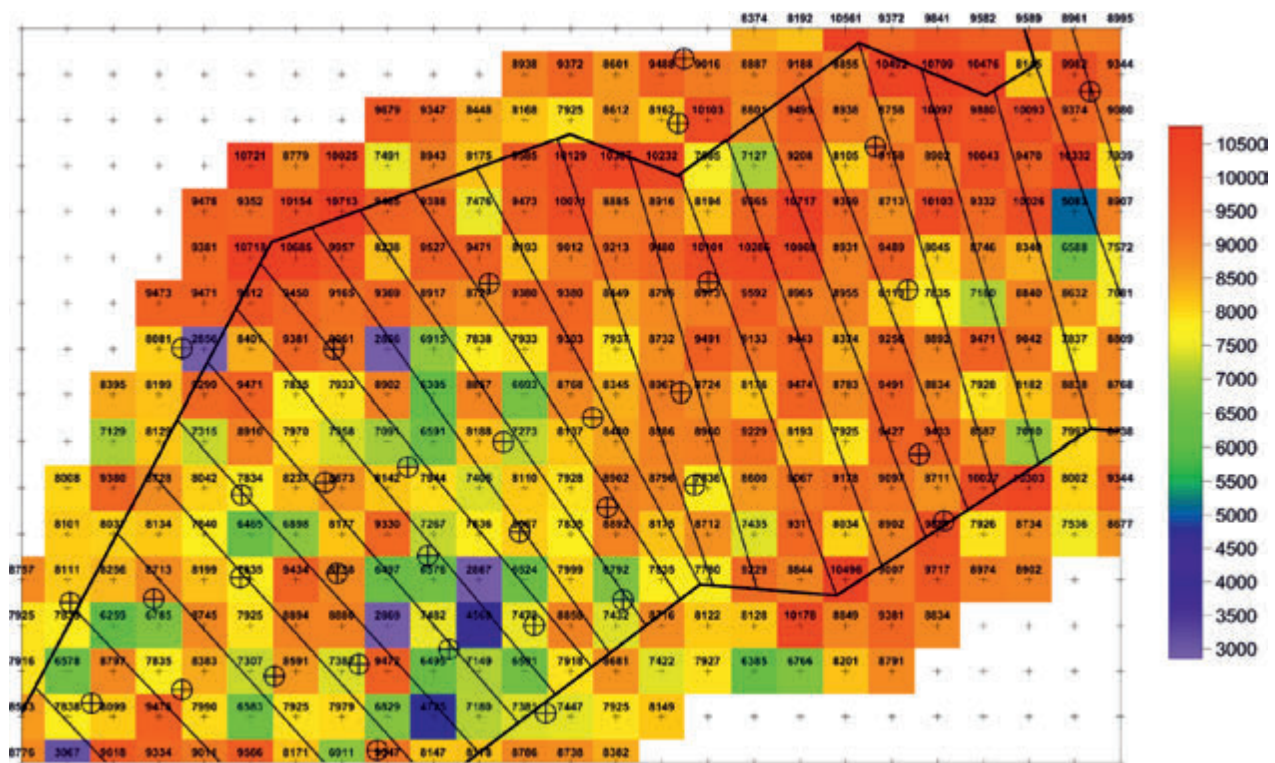
Rys. 2. Model miąższości pokładu węgla wraz z konturami obszarów przeznaczonych do eksploatacji w kolejnych miesiącach
 Fig. 2. Lignite seam thickness model with the borders of areas destined for mining in consecutive months

zaczajami przedstawiają miarę niepewności predykcji wykonanej metodą symulacji na podstawie dostępnych obserwacji. W pracy wykonano 20 niezależnych realizacji wartości opałowej złoża. Szerzej o zastosowanej metodzie symulacji geostatystycznej z podaniem materiałów źródłowych w publikacji [9].

Jako podstawę oceny przydatności modeli wykonanych na podstawie danych DG do prognozowania zmian wartości opałowej w funkcji postępów eksploatacji wykonano model referencyjny tego parametru metodą krigingu blokowego w oparciu o rozpoznanie eksploatacyjne (E). Ze względu na gęstą siatkę otworów rozpoznania eksploatacyjnego, która niemal

odpowiada rozmiarom siatki interpolacyjnej (50x50 m), tak wykonany model referencyjny można uznać za dokładny i miarodajny.

W konturach miesięcznych postępów eksploatacji obliczono wartość średnią dla wszystkich bloków, których środek zawierał się w konturach eksploatacji złoża w wyznaczonych granicach. Dla porównania pokazano również prognozowaną wartość najmniejszą i największą w danych miesiącu eksploatacji. Na rysunku 3 pokazano przykład realizacji symulacji wartości opałowej w blokach eksploatacyjnych w konturach miesięcznych postępów eksploatacji.



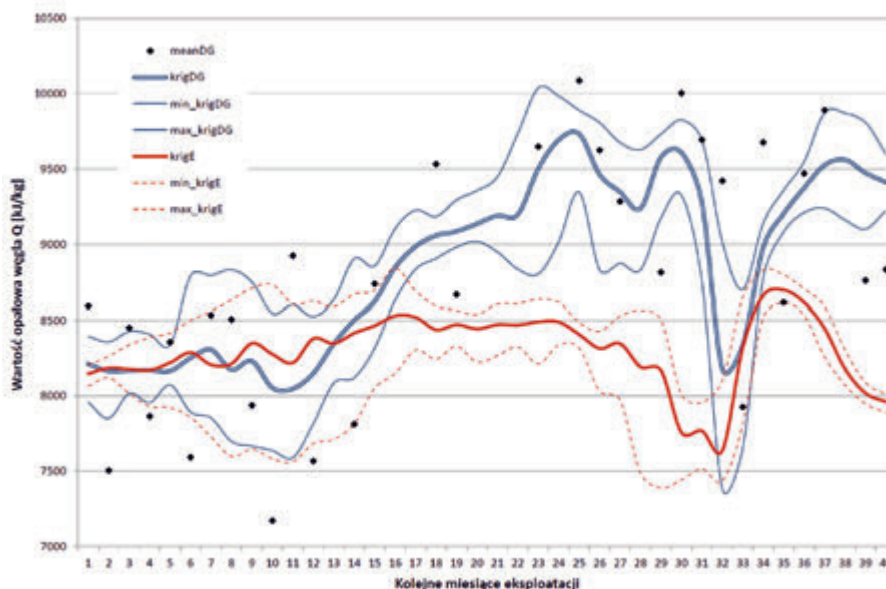
Rys. 3. Przykładowy wynik symulacji geostatystycznej wartości opałowej Q w blokach o wymiarach 50x50 m na podstawie dokumentacji geologicznej na tle konturów miesięcznych postępów frontów eksploatacyjnych. Symbolami pokazano lokalizację otworów geologicznych (DG).

Fig. 3. Exemplary result of a simulation of the calorific value Q in 50x50-meter blocks based on the geological documentation against the background of monthly advances of mining faces. The symbols present the locations of geological drillholes (DG).

Wyniki analiz

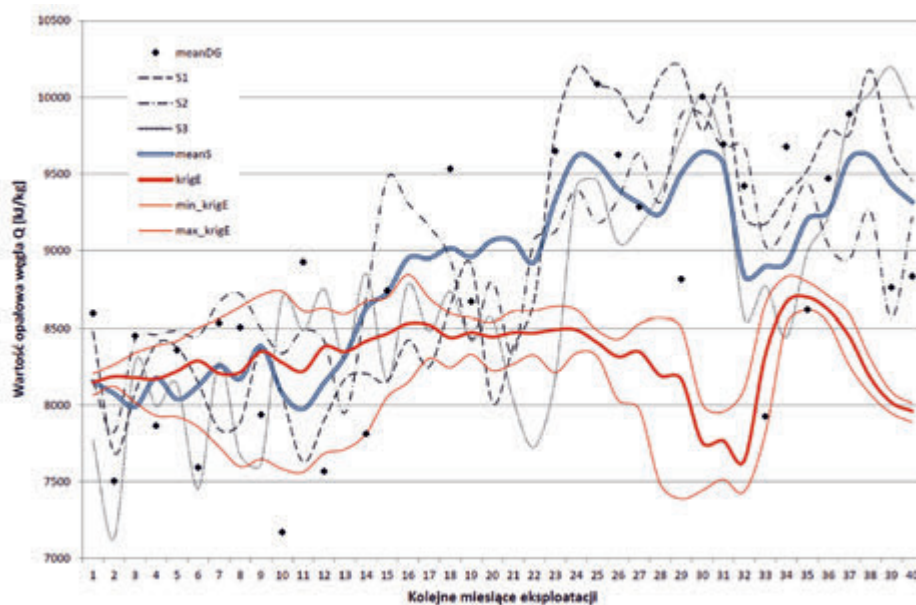
Wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Na rysunku 4 pokazano wykres średniej wartości opałowej w złożu w konturach projektowanych miesięcznych postępów eksploatacji. Interpolację wykonano w blokach o rozmiarach 50x50 metodą krigingu blokowego na podstawie danych z dokumentacji geologicznej (krigDG). Dla porównania przedstawiono średnią wartość opałową w konturach postępów miesięcznych na podstawie danych z rozpoznania eksploatacyjnego (krigE).

Oprócz linii wykresu, które odpowiadają wartościom średnim w miesięcznych postępach eksploatacji przedstawiono linie, które wskazują najmniejsze oraz największe wartości opałowe w blokach interpolacyjnych w poszczególnych konturach eksploatacji (min_krigDG, max_krigDG, min_krigE i max_krigE). Wskazują one na zakres wahań w obrębie miesięcznych postępów. Punktami oznaczono średnią wartość opałową na podstawie otworów z dokumentacji geologicznej zlokalizowanych w konturach poszczególnych postępów miesięcznych (meanDG).



Rys. 4. Porównanie wartości opałowej węgla Q w złożu w konturach planowanych czterdziestu miesięcznych postępów frontów eksploatacyjnych na podstawie modeli wykonanych metodą krigingu blokowego z wykorzystaniem danych z dokumentacji geologicznej (krigDG) oraz danych z rozpoznania eksploatacyjnego (krigE). Punktami oznaczono średnią wartość opałową na podstawie otworów z dokumentacji geologicznej w konturach miesięcznych postępów (meanDG).

Fig. 4. Comparison of lignite's calorific value Q in the deposit within the borders of forty planned monthly advances of the mining faces based on the models created with the use of block kriging and the data from geological documentation (krigDG) and data from mining exploration (krigE). The points identify mean calorific value based on the drillholes from geological documentation within the border of monthly advances (meanDG).



Rys. 5. Porównanie wartości opałowej węgla Q w złożu w konturach planowanych czterdziestu miesięcznych postępów frontów eksploatacyjnych na podstawie modeli wykonanych metodą symulacji geostatystycznej z wykorzystaniem danych z dokumentacji geologicznej (S1, S2, S3) oraz metodą krigingu blokowego z wykorzystaniem danych z rozpoznania eksploatacyjnego (krigE). Punktami oznaczono średnią wartość opałową na podstawie otworów z dokumentacji geologicznej w konturach postępów miesięcznych (meanDG).

Fig. 5. Comparison of lignite's calorific value Q in the deposit within the borders of forty planned monthly advances of the mining faces based on the models created with the use of geostatistical simulation and the data from geological documentation (S1, S2, S3) as well as with the use of block kriging method and data from mining exploration (krigE). The points identify mean calorific value based on the drillholes from geological documentation within the border of monthly advances (meanDG).

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wykresy wartości opałowej w okresach miesięcznych, będące efektem modelowania z wykorzystaniem symulacji geostatystycznej (S1, S2, S3) oraz linię reprezentującą wartość średnią z 20 realizacji symulacji wartości opałowej (meanS). Dla porównania wykresy przedstawiono na tle średniej wartości opałowej wykonanej na modelu referencyjnym (krigE). Pokazano również linie, które przedstawiają najmniejsze oraz największe wartości opałowe w blokach interpolacyjnych w poszczególnych konturach eksploatacji (min_krigE i max_krigE). Punktami oznaczono średnią wartość opałową na podstawie otworów z dokumentacji geologicznej w konturach postępów miesięcznych (meanDG).

Dyskusja wyników

Wykresy wartości opałowej (rys. 4 i 5) w miesięcznych postępach eksploatacji wykonane na podstawie dwóch różnych zestawów danych pomiarowych DG i E wykazują duże różnice, szczególnie w okresach eksploatacji obejmujących miesiące 18-32 i 37-40. W pozostałych okresach wykresy mają zbliżony przebieg. Znaczące różnice dla wartości średnich wahają się od 500 kJ/kg do 1800 kJ/kg, co stanowi odpowiednio 5% i 20% wartości średniej Q złoża wg danych DG albo 6% i 21% wartości średniej Q złoża wg danych E.

Wahania wartości opałowej w okresach miesięcznych widoczne na wykresie (rys. 4) w postaci zakresu pomiędzy liniami maksymalnych i minimalnych wartości modeli (min_krigE, max_krigE, min_krigDG i max_krigDG) są podobne dla modeli wykonanych na obydwu zestawach danych.

Znacznie większe wahania wartości opałowej widoczne są w przypadku zastosowania do modelowania symulacji geostatystycznej. Wykresy poszczególnych realizacji (S1, S2, S3 - rys. 5), reprezentują wartości średnie dla miesięcznych okresów eksploatacyjnych. Wartości ekstremalne w pojedynczych blokach znajdują się w przedziale od 3000 kJ/kg do 10 500 kJ/kg, co widoczne jest na przykładowej realizacji przedstawionej na rysunku 3.

Porównanie rysunków 4 i 5 wskazuje, że symulowane warto-

ści średnie (S1, S2, S3 - rys. 5) wykraczają poza zakres wyznaczony przez linie wartości ekstremalnych wyznaczonych metodą krigingu (min_krigDG i max_krigDG - rys. 4).

Średnia 20 realizacji symulacji (meanS - rys. 5) ma podobny przebieg do linii wyznaczonej na podstawie krigingu (krigDG - rys. 4).

Pojedyncze realizacje symulacji wskazują na zakres niepewności prognozy opartej na danych z dokumentacji geologicznej DG. Szczególnie widoczne jest to w obszarach, w których dane DG wykazują dużą zmienność oraz tam, gdzie gęstość danych pomiarowych jest mniejsza.

Różnice w prognozach wartości opałowej w funkcji postępów eksploatacji (rys. 4 i 5) wynikają w dużej mierze z różnic samego materiału pomiarowego DG i E (gęstość opróbowania, wartości średnie, wariancje). Już analiza statystyczna (tab. 2) oraz analiza wariogramów (tab. 3) wskazuje na znaczące różnice pomiędzy obydwoma zestawami danych.

Wnioski

Przedstawione na przykładzie jednego ze złóż węgla brunatnego analizy wskazują na niską wiarygodność planów długoterminowych wykonanych na podstawie danych z dokumentacji geologicznej oraz na konieczność ich uściślenia na kolejnych etapach zagospodarowania złoża w celu właściwego zarządzania jakością strugi urobku. Jest to zresztą zgodne z jedną z zasad projektowania górnictwa – zasadą kolejnych przybliżeń. Dla wykonania projektu zagospodarowania złoża wystarczająco dokładna jest dokumentacja geologiczna złoża w kategorii C1, dla planowania eksploatacji (plany średnio i krótkoterminowe) konieczne jest już rozpoznanie dokładniejsze – w kat. B i A.

Wyniki analiz potwierdzają znaną w branży górniczej zasadę, że wiedzę o złożu pozyskuje się na każdym etapie jego zagospodarowania, a najwięcej informacji posiada się wtedy, gdy złoża już nie ma.

Literatura

- [1] Frankowski R., Sośniak E., Gądek A., (2011) – *Komputerowe modele złoża Belchatów*, Węgiel Brunatny, Kwartalny Biuletyn Informacyjny PPWB, nr 3/76
- [2] Gärtner D., Hempel R., (2009) – *Überwachung und Steuerung der Prozesse in den Braunkohletagebauen im Rheinland*, Braunkohlentagebau, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 391-408
- [3] Gądek A., Frankowski R., Ślusarczyk G., Specylak-Skrzypecka J., (2009) – *Nowe spojrzenie na kompleksy litostratygraficzne złoża węgla brunatnego Belchatów (Pole Belchatów) na podstawie zaktualizowanego modelu złoża*, Górnictwo Odkrywkowe, R. 50, nr 2-3
- [4] Jarecki S. (2005) – *Odkrywka „Drzewce”*, Węgiel Brunatny, Kwartalny Biuletyn Informacyjny PPWB nr 3/52
- [5] Kaczmarewski T., Żwirski T., Kmiołek M. (2007) – *Górnictwo system informatyczny w BOT KWB „Turów” SA*, Górnictwo i Geoinżynieria, R. 31 z. 2
- [6] Knipfer A., (2011) - *Unterstützung der Betriebsführung von Braunkohletagebauen mit hoher Lagerstättenvariabilität auf Grundlage des markscheiderischen Datenmanagements*, TU Bergakademie Freiberg, Wissenschaftlichen Schriftenreihe im Markscheidewesen, z. 25
- [7] Kunde L., Trummer D., (2009) – *Kohlenqualitätsmanagement, Braunkohlentagebau*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 409-426
- [8] Naworyta W. (2007) – *Wpływ gęstości sieci rozpoznawczej na dokładność rozpoznania parametru złożowego z uwzględnieniem charakteru jego zmienności*, Górnictwo Odkrywkowe, R. 49, nr 7 s. 46-51.

- [9] 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, Tom 28, z. 1, s. 77-101
- [10] Naworyta W., Mazurek S., (2010) – *Modelowanie cenowe złoża węgla brunatnego Gubin jako wstęp do właściwej gospodarki surowcowej*, Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN, nr 79/2010, s. 299-314
- [11] Sypniowski Sz. (2012) – *Produkcja informatycznie zaplanowana*, Surowce i Maszyny Budowlane nr 1/2012.
- [12] Szamałek A., (2011) – *Informatyzacja i wizualizacja procesu wydobywczego na przykładzie kopalni odkrywkowej KWB „Konin” w Kleczewie S.A.*, [w] Geomatyka górnicza, praktyczne zastosowania, Wydawnictwo Fundacji dla AGH, Kraków, s. 75-84
- [13] Zimmer B. (2010) – *Neuentwicklung eines Online-Kohlequalitätsmanagementsystems in einem Braunkohlentagebau in Serbien*, [w] Drebenstedt C., red. (2010) - Continuous Surface Mining, Latest Development in Mine Planning, Equipment and Environmental Protection, Proceedings of 10th International Symposium Continuous Surface Mining, 13-15 września 2010, Freiberg, s. 290-302



Staw Dziki

fol. A. Różycki