

Wojciech NAWORYTA\*, Szymon SYPNIEWSKI\*\*, Joerg BENNDORF\*\*\*

## Analiza możliwości sterowania jakością strugi urobku na etapie planowania operacyjnego na przykładzie jednego ze złóż węgla brunatnego

**STRESZCZENIE.** Na przykładzie wybranej części jednego ze złóż węgla brunatnego poddano pod dyskusję problem sterowania jakością strugi wydobywanego węgla na etapie planowania operacyjnego. Do analiz wybrano jeden parametr jakościowy złoża – wartość opałową węgla w stanie surowym  $Q_i^r$ . Na podstawie rozpoznania eksploatacyjnego wykonano modele zmienności przestrzennej wartości opałowej. Modele wykonano dwiema metodami geostatystycznymi – metodą krigingu zwyczajnego w odmianie blokowej oraz metodą sekwencyjnej symulacji warunkowej Gaussa. Modelowanie wykonano w blokach o rozmiarach odpowiadających wielkości wydobywania dobowego. Wykazano wady i zalety zastosowanych metod modelowania oraz ich przydatność dla sterowania jakością surowca. Opierając się na kierunkach wybierania kolejnych bloków eksploatacyjnych przeanalizowano zmiany wartości opałowej w półrocznym okresie eksploatacji złoża. Na podstawie symulacji warunkowej przedstawiono mapy prawdopodobieństwa przekroczenia założonych górnych i dolnych wartości progowych wartości opałowej. W podsumowaniu zaproponowano metodę łagodzenia cyklicznych zmian wartości opałowej w celu jej uśrednienia na etapie eksploatacji złoża.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sterowanie jakością, planowanie operacyjne, węgiel brunatny, symulacja geostatystyczna

---

\* Dr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, e-mail: naworyta@agh.edu.pl.

\*\* Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie, e-mail: sypniowski@min-pan.krakow.pl.

\*\*\* Dr.-Ing. MPhil – TU Delft w Holandii, e-mail: j.benndorf@tudelft.nl.

## Wprowadzenie

Uwarunkowania ekologiczne i ekonomiczne w sektorze wytwarzania energii stwarzają konieczność ustawicznego podnoszenia sprawności bloków energetycznych (Chmielniak 2011; Zaporowski 2011). Jednym ze sposobów podniesienia sprawności procesu wytwarzania energii w elektrowniach opartych na paliwach kopalnych jest dostarczanie surowca o określonych i relatywnie stabilnych parametrach jakościowych.

W przypadku złóż węgla brunatnego zmienność przestrzenna parametrów jest dość duża. Biorąc pod uwagę kryterium zmienności, złoża węgla brunatnego zalicza się 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%. Wyjątkiem jest wartość opałowa, która wykazuje stosunkowo niską zmienność w zakresie od 9 do 16% (Naworyta, Sypniowski 2013).

Dla utrzymania stabilnych parametrów surowca podejmuje się działania określone mianem zarządzania jakością strumienia urobku (Jurdziak, Kawalec 2005; Gärtner, Hempel 2009; Zimmer 2010; Sypniowski 2012). Proces ten zaczyna się wraz z dokumentowaniem złoża i realizuje do czasu zakończenia eksploatacji. Sterowanie jakością można podzielić na kilka 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.

Analizy przedstawione w pracy odnoszą się do trzeciego etapu sterowania – planowania operacyjnego, które realizowane jest na podstawie rozpoznania eksploatacyjnego złoża za pomocą gęstej sieci otworów odwierconych po zdjęciu nadkładu. Artykuł jest kontynuacją problematyki poruszanej przez autorów w poprzednich publikacjach, w których odniesiono się do problemu zmienności parametrów jakościowych złóż węgla brunatnego, sposobów dokumentowania oraz sterowania jakością urabianej kopaliny na etapie planowania długo- i średnioterminowego (Naworyta 2008; Naworyta, Benndorf 2012; Naworyta, Sypniowski 2013).

## 1. Cel pracy

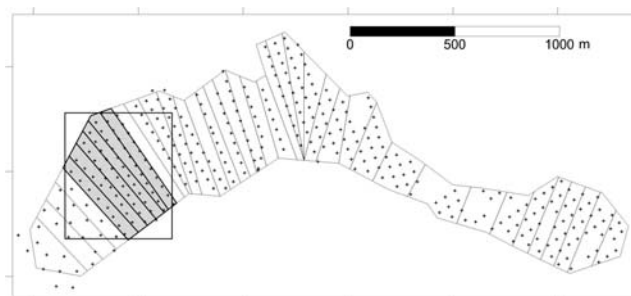
Dla realizacji procesu sterowania jakością urabianego węgla na etapie planowania operacyjnego konieczne jest właściwe rozpoznanie złoża. W kopalniach zadanie to realizuje się w różny sposób. Jednym z nich jest rozpoznanie złoża otworami wierconymi ze stropu odkrytego węgla – tzw. rozpoznanie eksploatacyjne. Otwory na złożu analizowanym w niniejszej pracy odwiercono w gęstej siatce 50 na 50 metrów. Mimo, że w stosunku do dokumentacji geologicznej rozpoznanie eksploatacyjne cechuje się wysoką dokładnością, co wynika z liczby otworów, to jednak rzeczywiste parametry urabianego węgla odbiegają często od rozpoznanych otworami wartości.

Głównym celem pracy była analiza możliwych odchyłeń od rozpoznanej otworami wartości opałowej złoża, czyli ocena na ile rozpoznanie eksploatacyjne dostarcza dokładnych danych dla realizacji zadań związanych z kontrolą jakości urabianej kopaliny. Dodatkowym celem pracy była ocena przydatności dwóch metod modelowania rozkładu przestrzennego parametrów złoża dla realizacji zadań związanych ze sterowaniem jakością strugi urabianej kopaliny.

Sterowanie jakością urobku w kopalniach węgla brunatnego prowadzi się z uwzględnieniem takich parametrów jak wartość opałowa, zawartość siarki w węglu lub zawartość krzemionki. W niniejszej pracy ze względu na przejrzystość analizowano wyłącznie wartość opałową węgla brunatnego, oznaczoną w węglu w stanie surowym  $Q_i^r$ .

## 2. Metoda

Na podstawie danych z rozpoznania eksploatacyjnego w granicach zdefiniowanych sześciu miesięcznych postępów eksploatacji wykonano modele zmienności wartości opałowej w blokach eksploatacyjnych. Analizy wykonano na części złoża w obszarze, w którym rozpoznanie eksploatacyjne cechuje się wysoką regularnością. Na rysunku 1 przedstawiono

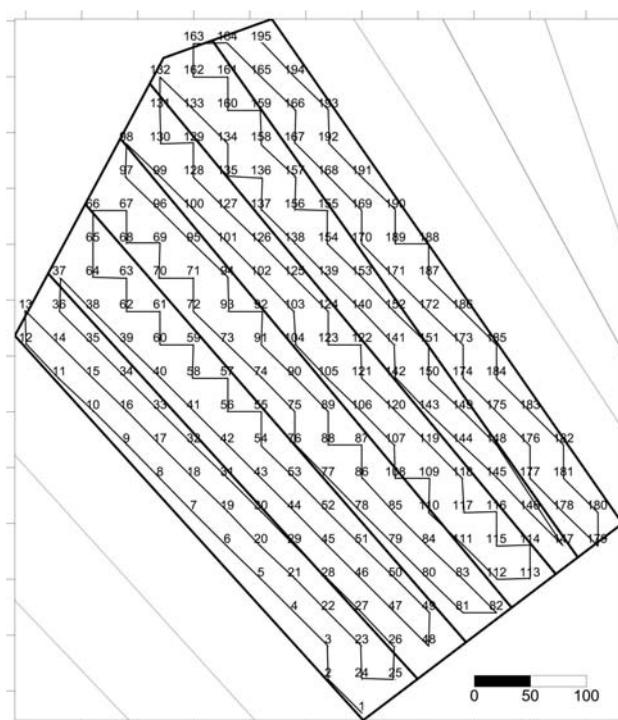


Rys. 1. Lokalizacja otworów rozpoznania eksploatacyjnego oraz granice miesięcznych postępów eksploatacji złoża. W prostokątnych granicach zakreślono wybrany obszar analiz

Fig. 1. Boreholes and borders of exploitation fields (monthly progress). The rectangle marks the analyzed area

wybrany wycinek złoża na tle całego złoża i przyjętych postępów eksploatacyjnych oraz na tle wszystkich otworów rozpoznawczych.

Na podstawie wykonanych modeli zmienności wartości opałowej w złożu przy przyjętym kierunku eksploatacji obliczono wahania wartości opałowej w okresie półrocznym. Na rysunku 2 pokazano kolejność urabiania kolejnych 195 bloków eksploatacyjnych. Każdy blok eksploatacyjny o wymiarach w planie  $30 \times 30$  metrów odpowiada rzeczywistej średniej dobowej eksploatacji analizowanego złoża (Jarecki 2005). Przy średniej miąższości pokładu węgla w tym rejonie na poziomie 6 metrów jednostkowy blok eksploatacyjny zawiera średnio 6,5 tys. Mg węgla.



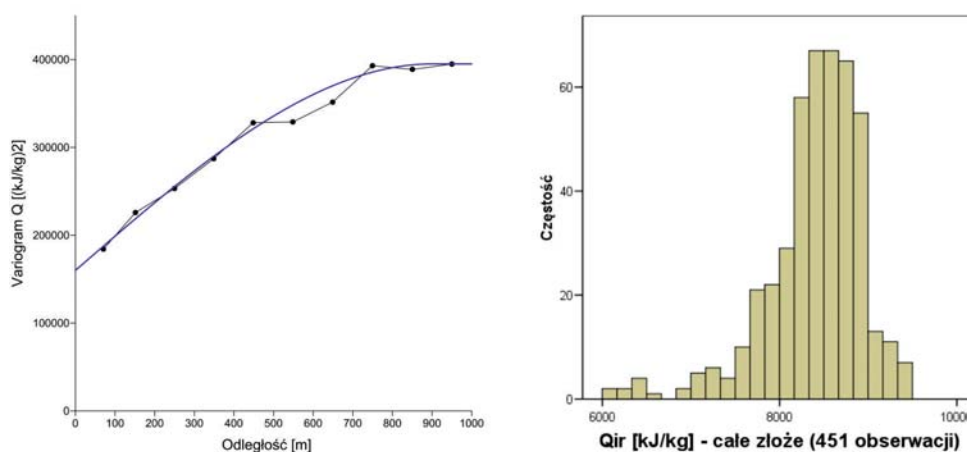
Rys. 2. Kolejność wybierania bloków eksploatacyjnych w granicach sześciu miesięcznych postępów frontów

Fig. 2. The order of exploitation within a 6-month period.  
Each exploitation block has been marked with the number

Na podstawie danych pomiarowych wykonano modele przestrzennej zmienności wartości opałowej metodą krigingu blokowego oraz metodą geostatystycznej sekwencyjnej symulacji warunkowej Gaussa (Remy i in. 2009). Procedura symulacji geostatystycznej bazuje na idei symulacji Monte-Carlo. Na podstawie dostępnych obserwacji poczynionych na złożu oraz liczb losowych symulacja umożliwia wygenerowanie dowolnej liczby modeli (zwanymi 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 krigingu

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 realizacjami przedstawiają miarę niepewności predykcji wykonanej metodą symulacji na podstawie dostępnych obserwacji. W pracy wykonano 25 niezależnych realizacji wartości opałowej wybranej części złoża. Na rysunku 4 pokazano dwie przykładowe realizacje. Szerzej o zastosowanej metodzie symulacji geostatystycznej z podaniem materiałów źródłowych w publikacji (Naworyta, Benndorf 2012).

Dla obydwu zastosowanych metod wykonano wariogram wartości opałowej. Do wariogramu empirycznego dopasowano model typu sferycznego (rys. 3 z lewej, tab. 1). Ze względu na brak wyraźnej zmienności kierunkowej w modelowanym złożu zastosowano izotropowy model wariogramu.



Rys. 3. Wariogram eksperymentalny wartości opałowej wraz z dopasowanym modelem (l) oraz histogram wartości opałowej oparty na 451 otworach rozpoznania eksploatacyjnego odwierconych na całym złożu (p)

Fig. 3. Experimental variogram with variogram model (l) and histogram of calorific value based on 451 boreholes (r)

TABELA 1. Podstawowe cechy modelu wariogramu wartości opałowej

TABLE 1. Basic features of variogram model of calorific value

Model wariogramu	Wymiar i jednostka
Wariancja lokalna ( <i>Nugget effect</i> )	160 000 (kJ/kg) <sup>2</sup>
Model sferyczny	235 000 (kJ/kg) <sup>2</sup>
Zasięg autokorelacji ( <i>Range</i> )	900 m
Udział zmienności nielosowej UN	59,5%

### 3. Materiał pomiarowy wykorzystany do analizy

Modele zmienności wartości opałowej oparto na 68 otworach rozpoznania eksploatacyjnego znajdujących się w granicach eksploatacji oraz otworach sąsiadujących. Na rysunku 3 (z prawej) przedstawiono histogram wartości opałowej oparty na danych z wszystkich otworów rozpoznania eksploatacyjnego analizowanego złoża. W tabeli 2 zestawiono podstawową charakterystykę statystyczną danych pomiarowych z 68 otworów.

TABELA 2. Podstawowe cechy statystyczne wartości opałowej na podstawie 68 otworów rozpoznania eksploatacyjnego oraz dwóch modeli

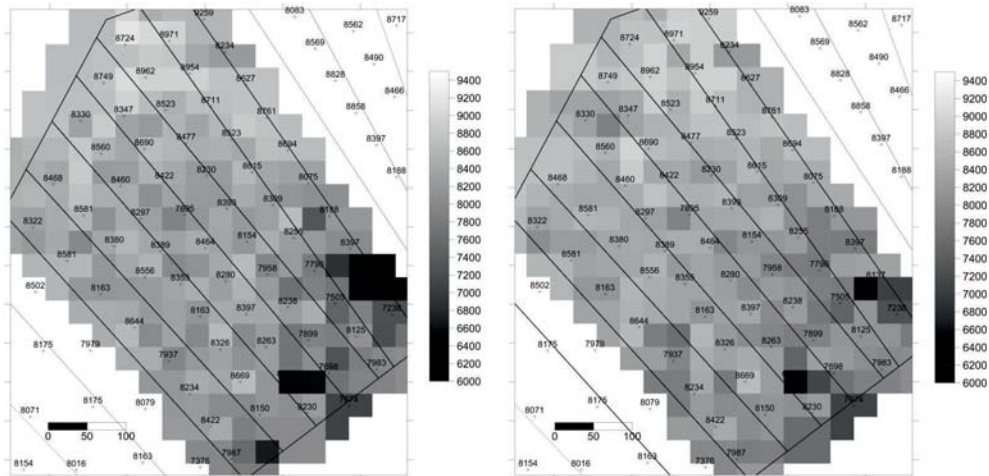
TABLE 2. Basic statistics of calorific value based on 68 boreholes and both models

	Dane z otworów rozpoznawczych	Model – krigingu zwyczajnego	Model – średnia z 25 realizacji symulacji
Ilość otworów/ilość bloków	68	196 (30 × 30 m)	196 (30 × 30 m)
Wartość średnia	8267 kJ/kg	8283 kJ/kg	8271 kJ/kg
Odchylenie standardowe	521 kJ/kg	323,8 kJ/kg	408
Współczynnik zmienności	6,30 %	3,90%	4,90%
Wartość minimalna	6137 kJ/kg	7119 kJ/kg	6137 kJ/kg
Wartość maksymalna	9259 kJ/kg	8909 kJ/kg	8971 kJ/kg
Wartość maksymalnie niedoszacowane	Wartość pomierzona 8397 kJ/kg	Wartość oszacowana 7628 kJ/kg	
Wartość maksymalnie przeszacowana	Wartość rzeczywista 6241 kJ/kg	Wartość oszacowana 8079 kJ/kg	

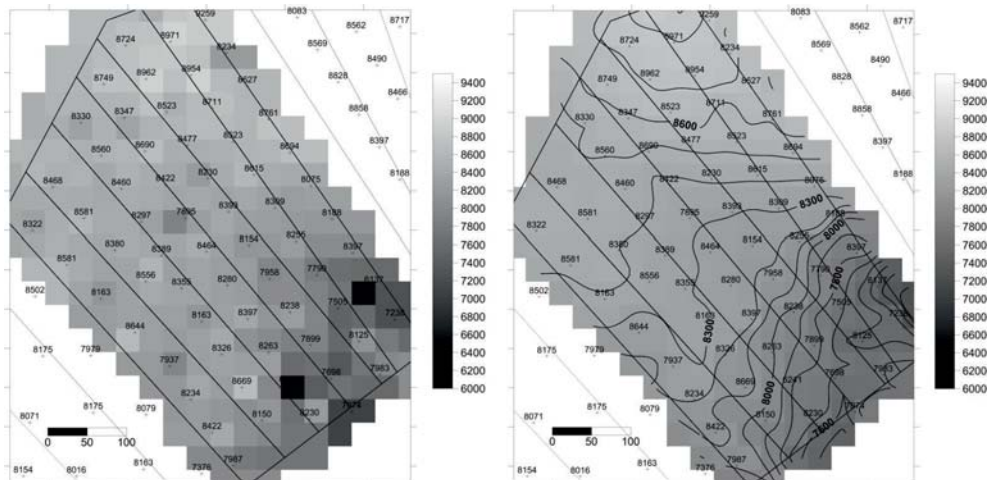
### 4. Wyniki i dyskusja

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono modele zmienności wartości opałowej w wybranej części złoża. Dla ułatwienia oceny wiarygodności modeli na rysunkach pokazano lokalizację otworów rozpoznania eksploatacyjnego oraz stwierdzoną w nich wartość opałową. W celu ułatwienia porównania modele na rysunkach 4 i 5 pokazano w identycznej skali szarości. Na rysunku 4 pokazano przykładowe dwie z 25 wykonanych realizacji symulacji. Modele różnią się od siebie, różnice występują przede wszystkim w blokach, w których nie ma otworów rozpoznawczych.

Na rysunku 5 zestawiono dwa modele zmienności wartości opałowej – średnią z 25 realizacji symulacji (po lewej) oraz model wykonany metodą krigingu zwyczajnego (po



Rys. 4. Modele zmienności przestrzennej wartości opałowej  $Q_i^r$  – przykładowe realizacje symulacji warunkowej



Rys. 5. Modele zmienności wartości opałowej  $Q_i^r$  – średnia z 25 realizacji symulacji (l), kriging zwyczajny (p)

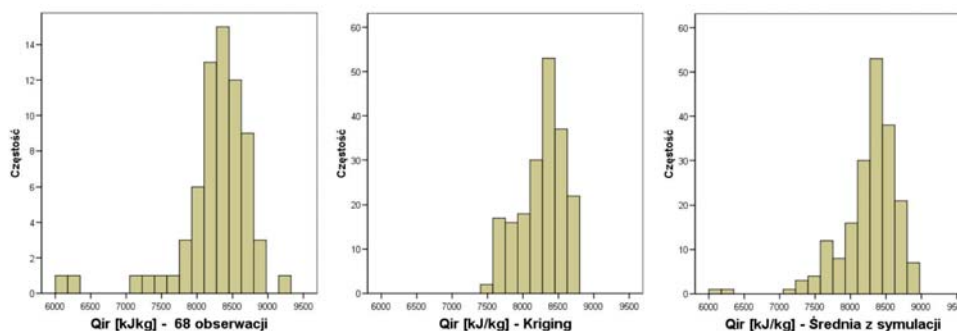
Fig. 5. Variation of the calorific value  $Q_i^r$  – average of 25 realizations (l), ordinary kriging (r)

prawej). Wartość opałowa na modelu wykonanym metodą krigingu zmienia się stopniowo. Izolinie pokazane na rysunku 5 po prawej pokazują efekt wygładzenia, jaki wystąpił przy zastosowaniu krigingu zwyczajnego. W opozycji do tego, model będący średnią z 25 realizacji symulacji (rys. 5, z lewej) wskazuje na duże zróżnicowanie lokalne wartości opałowej.

W tabeli 2 zestawiono cechy statystyczne modeli pokazanych na rysunku 5. Wartość średnia jest zbliżona w obydwu przypadkach do średniej z otworów rozpoznawczych, jednak odchylenie standardowe oraz wartości minimalne i maksymalne dwóch modeli znacząco się od siebie różnią. W przypadku symulacji są one bliższe wartościom wynikającym z danych pomiarowych.

Dla oceny liczbowej wpływu efektu wygładzenia krigingu wykonano walidację krzyżową. W tabeli 2 w ostatnich wierszach przedstawiono wielkości, które w wyniku krigingu zostały maksymalnie niedoszacowane lub przeszacowane.

Na rysunku 6 przedstawiono histogramy modeli zmienności wartości opałowej w wybranej części złoża w porównaniu do histogramu opartego na danych z 68 otworów rozpoznawczych. Widoczne jest zawężenie wartości na modelu krigingu zwyczajnego. Efekt wygładzenia krigingu można skompensować przez zastosowanie poprawki Yamamoto (Mucha, Wasilewska 2006).



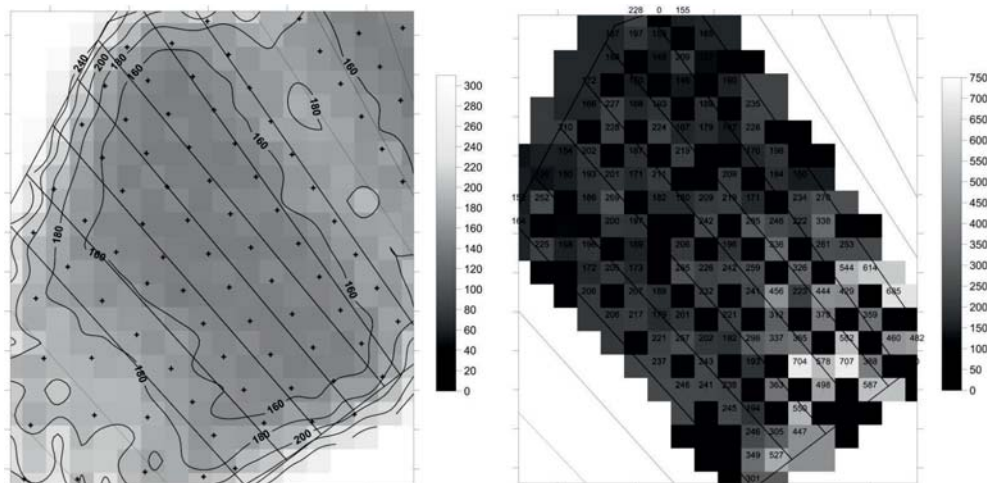
Rys. 6. Histogramy wartości opałowej oparte na 68 otworach rozpoznawczych (z lewej), model krigingu zwyczajnego (w środku) i średnią z 25 realizacji symulacji geostatystycznej (z prawej)

Fig. 6. Histograms of calorific value  $Q_i^r$  based on 68 boreholes (l), kriging model (m) and average of 25 simulations (r)

Na rysunku 7 z lewej pokazano odchylenie standardowe krigingu zwyczajnego, które wyraża wielkość prognozowanego błędu interpolacji. Jego wielkość w danym bloku zależy przede wszystkim od odległości najbliższych obserwacji, na podstawie których przeprowadzono interpolację. Zależność ta nie jest liniowa, lecz wynika z funkcji wariogramu użytego do modelowania. Odchylenie standardowe krigingu nie zależy od lokalnej zmienności wykorzystanych do modelowania obserwacji.

Rysunek 7 z prawej obrazuje mapę odchylenia standardowego symulacji warunkowej. Mapa jest efektem analizy statystycznej 25 realizacji. W każdym węźle siatki obliczone zostało odchylenie standardowe obrazujące miarę niepewności prognozy lokalnej. Wyraźne są różnice pomiędzy obydwoma rysunkami. Różnice leżą nie tylko w nominalnych wartościach odchylenia standardowego, ale również w ich rozkładzie przestrzennym w obszarze modelowanego złoża. Odchylenie standardowe symulacji osiąga szczególnie duże wartości w południowo-wschodniej części złoża. Jest to wpływ dużego zróżnicowania wartości opałowej sąsiadujących ze sobą obserwacji. Na skutek tego poszczególne realizacje symulacji są w tym obszarze wzajemnie mocno zróżnicowane.

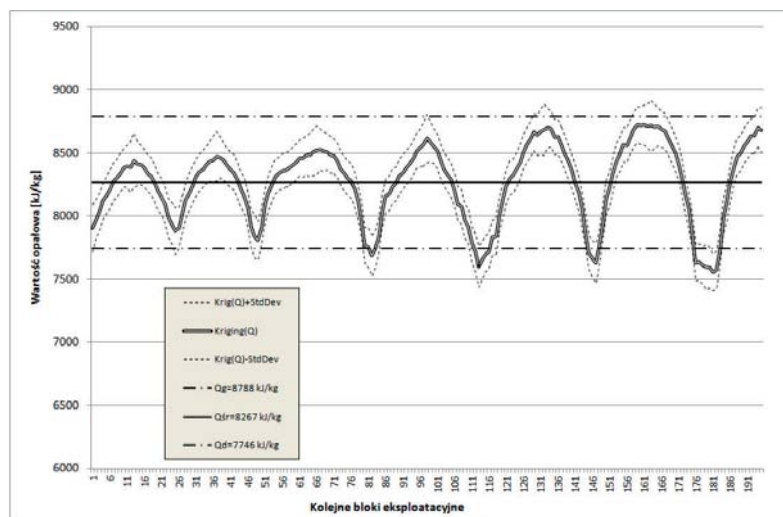




Rys. 7. Odchylenie standardowe krigingu (l) i odchylenie standardowe 25 realizacji symulacji (p)

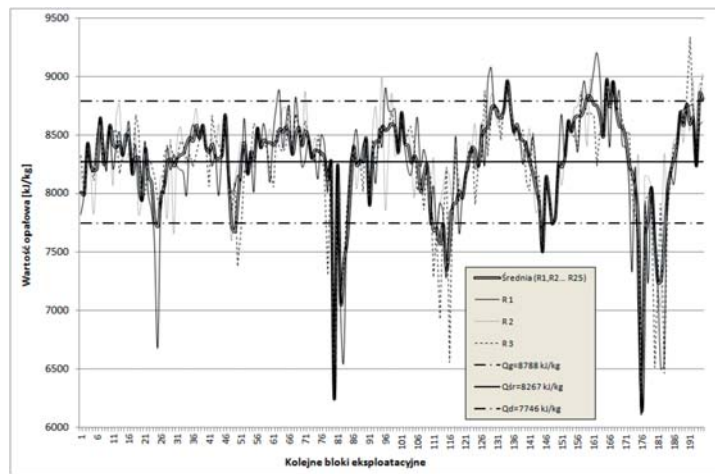
Fig. 7. Standard deviation of kriging (l) and standard deviation of simulation based on 25 realizations (r)

Opierając się na przyjętym postępie eksploatacji (rys. 2) wykonano wykresy wartości opałowej w kolejno eksploatowanych blokach odpowiadających średniej wielkości wydobycia dobowego. Rysunki 8 i 9 przedstawiają wahania wartości opałowej w strudze węgla w okresie 6 miesięcy eksploatacji. Wykres na rysunku 8 wykonano na podstawie modelu zmienności wykonanego metodą krigingu zwyczajnego. Oprócz wartości średniej liniami przerywanymi pokazano odchylenie standardowe krigingu właściwe dla każdego bloku



Rys. 8. Zmiany wartości opałowej  $Q_i^r$  w okresie 195 dni eksploatacji – na podstawie modelu wykonanego metodą krigingu zwyczajnego

Fig. 8. The fluctuation of calorific value  $Q_i^r$  within 195 days of exploitation – based on ordinary kriging



Rys. 9. Zmiany wartości opałowej  $Q_f^r$  w okresie 195 dni eksploatacji – na podstawie symulacji warunkowej

Fig. 9. The fluctuation of calorific value  $Q_f^r$  within 195 days of exploitation – based on conditional simulation

eksploatacyjnego. Wykres na rysunku 9 przedstawia wahania wartości opałowej oparte na modelu wykonanym metodą symulacji warunkowej. Pokazano 3 przykładowe realizacje symulacji oraz wartość średnią ze wszystkich 25 realizacji. Wykresy (rys. 8 i 9) uzupełnione są o poziome linie odpowiadające wartości średniej obliczonej z 68 obserwacji ( $Q_{sr} = 8267 \text{ kJ/kg}$ ) oraz linie odpowiadające średniej powiększonej ( $Q_g = 8788 \text{ kJ/kg}$ ) i pomniejszonej o wielkość odchylenia standardowego obserwacji ( $Q_d = 7746 \text{ kJ/kg}$ ).

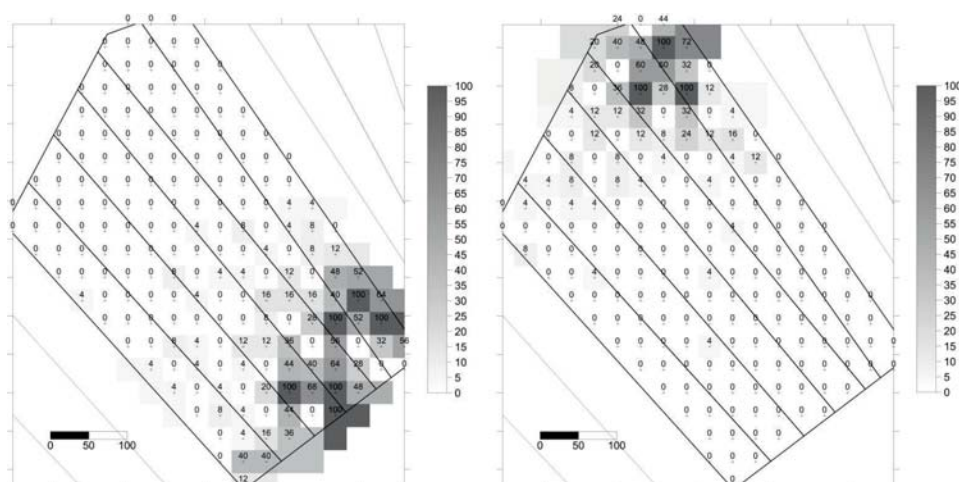
Na pierwszym wykresie (rys. 8) średnia wartość opałowa wyznaczona metodą krigingu zmienia się cyklicznie w zakresie wyznaczonym przez odchylenie standardowe obserwacji nieznacznie tylko wychodząc poza te linie. Na drugim wykresie (rys. 9) wahania pojedynczych realizacji ( $R1, R2, R3$ ) są znaczne, a średnia z realizacji (*Average R1, R1... R25*) w kilku miejscach wykracza znacznie poza granice wyznaczone przez linię  $Q_d = 7746 \text{ kJ/kg}$ , osiągając wartość poniżej wartości  $Q = 6500 \text{ kJ/kg}$ .

Na podstawie wyników 25 realizacji symulacji geostatystycznej wykonano mapę pokazującą prawdopodobieństwo przekroczenia założonych wartości progowych w poszczególnych blokach eksploatacyjnych. Jako wartości graniczne przyjęto średnią z 68 obserwacji powiększoną i pomniejszoną o wartość odchylenia standardowego, czyli po zaokrągleniu odpowiednio  $Q_g = 8790 \text{ kJ/kg}$  oraz  $Q_d = 7750 \text{ kJ/kg}$ . Na rysunku 10 pokazano mapy prawdopodobieństwa przekroczenia przyjętych wartości progowych.

## Podsumowanie i wnioski

Wartość opałowa analizowanego fragmentu złoża wykazuje relatywnie małą zmienność (6,3%), mimo to ze względu na podłużny kształt złoża (rys. 1), który implikuje kierunek jego

urabiania, a także rozmieszczenie wartości opałowej w złożu średnie dobowe wartości opałowe wahają się w zakresie 7750–8790 kJ/kg. Przy przyjętym sposobie urabiania zmiany przyjmują charakter niemal regularnych miesięcznych cykli. W dwóch częściach złoża węgiel wykazuje większe odstępstwa od założonych wartości progowych (rys. 10). Dotyczy to głównie wartości poniżej 7750 kJ/kg w obszarze południowo-wschodnim, ale również powyżej 8790 kJ/kg w północnej części złoża.



Rys. 10. Prawdopodobieństwo występowania w blokach wartości opałowej niższej od dolnej wartości progowej  $Q_d = 7750 \text{ kJ/kg}$  (l) oraz wyższej od górnej wartości progowej  $Q_g = 8790 \text{ kJ/kg}$  (p), na podstawie symulacji

Fig. 10. The occurrence probability of calorific value lower than  $Q_d = 7750 \text{ kJ/kg}$  (l) and higher than  $Q_g = 8790 \text{ kJ/kg}$  (r) in the exploitation blocks, based on simulation

Dla potrzeb sterowania jakością urabianej kopaliny w celu utrzymania wartości opałowej na żądanym poziomie przydatne jest posługiwanie się nowoczesnymi narzędziami interpolacyjnymi. W pracy wykazano, że do tego celu szczególnie przydatna jest symulacja geostatystyczna, która – oprócz wartości średnich – pozwala określić poziom prawdopodobieństwa przekroczenia przyjętych wartości progowych w poszczególnych blokach (poziom ryzyka). W opozycji do symulacji interpolacja wykonana metodą kriginu zwyczajnego przez wykazany w pracy efekt wygładzenia skrajnych wartości może prowadzić do błędnych decyzji operacyjnych.

W przypadku analizowanej części złoża dla utrzymania stabilnego poziomu wartości opałowej urabianego węgla można zastosować urabianie dwiema koparkami, przy czym powinny one być przesunięte na złożu o odległość odpowiadającą połowie cyklu (ok. 15 dni). Dzięki takiemu zabiegowi w połączonej z obydwu koparek strudze urobku wahania cykliczne powinny ulec wytlumieniu. Niezależnie od tego kolejnym etapem sterowania jakością urobku powinien być plac homogenizacyjny, na którym na podstawie modeli prawdopodobieństwa (rys. 10) można lokować węgiel o skrajnych parametrach w celu jego właściwego uśredniania.

## Literatura

- CHMIELNIAK T., 2011 – Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych. *Polityka Energetyczna* t. 14, z. 2, s. 23–34.
- GÄRTNER D., HEMPEL R., 2009 – Überwachung und Steuerung der Prozesse in den Braunkohlentagebauen im Rheinland, *Braunkohlentagebau*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 391–408.
- JARECKI S., 2005 – Odkrywka „Drzewce”. *Węgiel Brunatny, Kwartalny Biuletyn Informacyjny PPWB* nr 3/52.
- JURDZIAK L., KAWALEC W., 2005 – Operacyjne sterowanie jakością węgla brunatnego w energetyce niemieckiej. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Nr 113, *Studia i materiały* nr 31.
- KUNDE L., TRUMMER D., 2009 – Kohlenqualitätsmanagement, *Braunkohlentagebau*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 409–426.
- MUCHA J., WASILEWSKA M., 2006 – Korekta efektu wygładzenia w procedurze interpolacyjnej kriginu zwyczajnego. *Przegląd Górniczy* t. 62, nr 1, s. 31–36.
- 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, s. 77–101.
- 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 2/2013.
- REMY i in. 2009 – REMY N., BOUCHER A., WU J., 2009 – *Applied Geostatistics with S-GeMS*. Cambridge University Press, Cambridge.
- SYPNIEWSKI Sz., 2012 – Produkcja informatycznie zaplanowana. *Surowce i Maszyny Budowlane* nr 1/2012.
- ZAPOROWSKI B., 2011 – Efektywność energetyczna i ekonomiczna elektrowni i elektrociepłowni dużej i średniej mocy. *Polityka Energetyczna* t. 14, z 2, s. 455–468.
- 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 10<sup>th</sup> International Symposium Continuous Surface Mining*, 13–15 września 2010, Freiberg, s. 290–302.

Wojciech NAWORYTA, Szymon SYPNIEWSKI, Joerg BENNDORF

## Analysis of the possibility of lignite stream quality control at the stage of operational planning using an example lignite deposit

### Abstract

Using the example of a selected part of one lignite deposit, this study analyzes the problem of quality control of the mined lignite stream at the stage of operational planning. A single quality parameter of the deposit was selected for analysis – the calorific value of raw lignite  $Q_i^r$ . Based on the drill holes from the exploitation phase, models of spatial variability for this parameter were created. The models were built using two geostatistical methods – ordinary block kriging and sequential Gauss conditional simulation. The modeling was done in blocks which correspond with the size of daily production. Advantages and disadvantages of the modeling methods were outlined together with their suitability for use in controlling raw material quality. Based on the direction of mining of particular exploitation blocks, the variability of the calorific value over a 6-month period was analyzed. The conditional simulation allowed for the creation of maps of the probability of exceeding certain upper and lower thresholds of the calorific value. The summary of the article proposes a method of mitigating the cyclical changes in the calorific value. The concept is to blend lignite of different quality in order to obtain a relatively stable value.

KEY WORDS: quality control, operational planning, lignite, geostatistical simulation

