

EDYTA BRZYCHCZY*

Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 4. Procedura optymalizacji

Słowa kluczowe

Modelowanie, optymalizacja, roboty górnicze, sieci stochastyczne, sieci GAN, metoda GERT

Streszczenie

W artykule zaprezentowano procedurę optymalizacji opracowaną dla metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Prezentowana metoda może stanowić narzędzie wspomagające proces projektowania przyszłych robót górniczych z uwzględnieniem wymagań decydenta w sferze poziomu wyników produkcyjnych oraz ekonomiczno-finansowych.

Wprowadzenie

W czwartej części cyklu artykułów przybliżających metodę modelowania i optymalizacji robót górniczych z wykorzystaniem sieci stochastycznych przedstawiono opracowaną dla jej potrzeb procedurę optymalizacji.

Po zdefiniowaniu odpowiednich wariantów prowadzenia robót górniczych i obliczeń według modelu matematycznego opisanego szczegółowo w części 3 (Brzychczy 2006c) następuje kolejny krok metody, czyli wybór najlepszego rozwiązania.

Procedura optymalizacji składa się z kilku etapów, które zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.

* Dr inż., Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków.

Recenzent prof. dr hab. inż. Czesław Cyrnek

1. Procedura optymalizacji

Wybór kryterium optymalizacji jest bardzo ważny ze względu na przyszłą przydatność sporządzanych planów dotyczących prowadzenia robót górniczych.

Dla przedsiębiorstwa prowadzącego działalność w warunkach gospodarki rynkowej istotne jest dostosowanie produkcji do zapotrzebowania na rynku. Kopalnie w sporządzanych planach techniczno-ekonomicznych szacują przyszłe wydobywanie i wyniki finansowe w nawiązaniu do zawartych umów z odbiorcami w kraju i za granicą oraz prognoz w zakresie możliwości sprzedaży na wolnym rynku. Stąd np. warunkiem ograniczającym przy wyborze najlepszego rozwiązania może stać się wartość planowana produkcji w jednostce czasu.

W opracowanej metodzie wybrano następujące kryteria optymalizacji przy uwzględnieniu odpowiednich warunków ograniczających:

- minimalizacja wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie,
- maksymalizacja wartości oczekiwanej wyniku jednostkowego na sprzedaży w badanym okresie,

przy uwzględnieniu:

- minimalizacji odchylenia standardowego jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie,
- minimalizacji odchylenia standardowego wyniku jednostkowego na sprzedaży w badanym okresie.

Wybór najlepszego rozwiązania zostaje przeprowadzony w następujących etapach:

1. Wybór dopuszczalnych rozwiązań pod względem wielkości przyszłej produkcji w badanym okresie i utworzenie tzw. zbioru DP.
2. Wybór dopuszczalnych rozwiązań ze zbioru DP pod względem dostosowania wielkości wydobywania dla poszczególnych kwartałów badanego okresu do zapisów planu techniczno-ekonomicznego i utworzenie tzw. zbioru DWB.
3. Wybór dopuszczalnych rozwiązań ze zbioru DWB pod względem:
 - minimalnej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla i utworzenie zbioru DKB,
 - maksymalnej wartości oczekiwanej wyniku jednostkowego na sprzedaży i utworzenie zbioru DAB.

Do wyboru rozwiązania zbliżonego pod względem wydobywania do zapisów planu techniczno-ekonomicznego spośród otrzymanych wyników obliczeń może znaleźć zastosowanie wielowymiarowa analiza porównawcza.

Przyjęto, że na i -ty wynik obliczeń składają się następujące dane:

1. SW_i – wartość średnia wydobywania ogółem w badanym okresie.
2. Macierze opisujące kształtowanie się badanych charakterystyk w czasie:

$$W_i = \begin{bmatrix} wxsr_1 & wxsr_2 & \dots & wxsr_l \\ wso_1 & wso_2 & \dots & wso_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie:

- i – numer kolejny rozwiązania,
- $wxsr_l$ – wartość średnia wielkości wydobycia w l -tej jednostce czasu,
- wso_l – odchylenie standardowe wielkości wydobycia w l -tej jednostce czasu,

oraz:

$$K_i = \begin{bmatrix} kxsr_k \\ kso_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdzie:

- i – numer kolejny rozwiązania,
- $kxsr_k$ – wartość średnia jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w k -tym okresie,
- kso_k – odchylenie standardowe jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w k -tym okresie,

a także:

$$A_i = \begin{bmatrix} axsr_k \\ aso_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

gdzie:

- i – numer kolejny rozwiązania,
- $axsr_k$ – wartość średnia jednostkowego wyniku na sprzedaży w k -tym okresie,
- aso_k – odchylenie standardowe jednostkowego wyniku na sprzedaży w k -tym okresie.

Zakładając, że planowany poziom wydobycia W_p będzie dany następującą macierzą

$$W_p = \begin{bmatrix} wx_1 & wx_2 & \dots & wx_l \\ ws_1 & ws_2 & \dots & ws_l \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie:

- wx_l – planowana wartość średnia wielkości wydobycia w l -tej jednostce czasu,
- ws_l – planowane odchylenie standardowe wielkości wydobycia w l -tej jednostce czasu,

to można stworzyć następującą macierz odległości DW pomiędzy W_i a W_p :

$$DW_i = \begin{bmatrix} dW_i \\ dws_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

gdzie:

dW_i – oblicza się według wzoru

$$dW_i = \sqrt{\sum_{j=1}^l (wxsr_j - wx_j)^2} \quad (6)$$

dws_i – oblicza się według wzoru:

$$dws_i = \sqrt{\sum_{j=1}^l (wso_j - ws_j)^2} \quad (7)$$

Odległość dW_i wyraża podobieństwo i -tego wariantu pod względem wartości średniej wydobywania w odpowiednich jednostkach czasu w stosunku do zapisów planu.

W przypadku jednostkowego kosztu sprzedanego węgla dąży się do tego, aby jego wartość oczekiwana w badanym okresie była jak najmniejsza oraz aby rozwiązanie charakteryzowało się małym zróżnicowaniem otrzymywanych wartości.

Wartość oczekiwana jednostkowego wyniku na sprzedaży powinna przyjmować jak najwyższą wartość przy jednoczesnym uwzględnieniu zróżnicowania wyników, które powinno być jak najmniejsze.

Po obliczeniu podanych charakterystyk dla wszystkich wariantów można przejść do wyznaczenia zbiorów:

1. Aby rozwiązanie zaliczyć do zbioru DP musi zostać spełniona następująca zależność:

$$SW_{min} \leq SW_i \leq SW_{max} \quad (8)$$

gdzie: $\langle SW_{min}, SW_{max} \rangle$ – przedział wartości średniej całkowitego wydobywania w badanym okresie zaakceptowany przez kierownictwo kopalni.

2. Aby rozwiązanie mogło być zaliczone do zbioru DWB musi ono zawierać się w zbiorze DP i powinny zostać spełnione następujące zależności:

$$dW_i \leq dW_{kryt} \quad (9)$$

oraz

$$dws_i \leq dws_{kryt} \quad (10)$$

gdzie:

$$dW_{kryt} = \overline{dW}, \quad \text{a} \quad \overline{dW} = \frac{\sum_{i=1}^{nw} dW_i}{nw} \quad (11)$$

$$dws_{kryt} = \overline{dws}, \quad \text{a} \quad \overline{dws} = \frac{\sum_{i=1}^{nw} dws_i}{nw} \quad (12)$$

nw – liczba wariantów w zbiorze DP.

3. Aby rozwiązanie mogło być zaliczone do zbioru DKB musi ono zawierać się w zbiorze DWB i powinny zostać spełnione następujące zależności:

$$kxsr_i < kxsr_{kryt} \quad (13)$$

i

$$kso_i < kso_{kryt} \quad (14)$$

gdzie:

- $kxsr_{kryt}$ – założona maksymalna wartość średnia kosztu jednostkowego sprzedanego węgla w badanym okresie,
- kso_{kryt} – założona maksymalna wartość odchylenia standardowego kosztu jednostkowego sprzedanego węgla w badanym okresie.

4. Aby rozwiązanie mogło być zaliczone do zbioru DAB musi ono zawierać się w zbiorze DWB i powinny zostać spełnione następujące zależności:

$$axsr_i > axsr_{kryt} \quad (15)$$

i

$$aso_i < aso_{kryt} \quad (16)$$

gdzie:

- $axsr_{kryt}$ – założona minimalna wartość średnia wyniku jednostkowego na sprzedaży węgla w badanym okresie,
- aso_{kryt} – założona maksymalna wartość odchylenia standardowego wyniku jednostkowego na sprzedaży węgla w badanym okresie.

Decydent wyznacza wartości krytyczne dla poszczególnych charakterystyk w zależności od panujących warunków otoczenia i informacji, jakimi dysponuje w zakresie ograniczeń wynikających z planu techniczno-ekonomicznego.

Po wyznaczeniu zbioru dopuszczalnych rozwiązań DKB wybór optymalnego rozwiązania pod względem minimalizacji wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla może przedstawić się następująco:

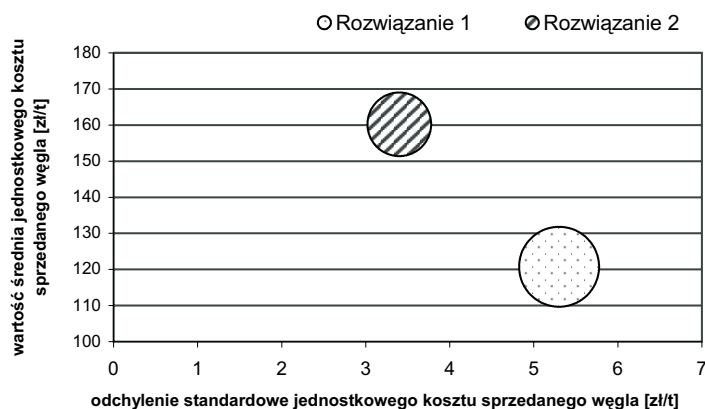
- istnieje rozwiązanie 1 o minimalnej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla ($kxsr$), ale o znacznym odchyleniu standardowym (kso),
- istnieje rozwiązanie 2 o wyższej niż w rozwiązaniu 1 wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla ($kxsr$), ale o minimalnym odchyleniu standardowym (kso).

Przypadki powyższe przedstawiono na rysunku 2.1.

Wybierając rozwiązanie 1 decydent może spodziewać się najmniejszej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie, ale jednocześnie może narazić się na znaczne ryzyko jej niedotrzymania bądź przekroczenia, ponieważ rozwiązanie to charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem otrzymywanych wartości wyrażonym odchyleniem standardowym. Wybierając natomiast rozwiązanie 2 może spodziewać się nieznanego ryzyka niedotrzymania bądź przekroczenia wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie, przy czym wartość oczekiwana jednostkowego kosztu sprzedanego węgla różni się znacznie od poziomu minimalnego.

Po wyznaczeniu zbioru dopuszczalnych rozwiązań DAB wybór optymalnego rozwiązania pod względem maksymalizacji wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży węgla może przedstawić się następująco:

- istnieje rozwiązanie 1 o maksymalnej wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży węgla ($axsr$), ale o znacznym odchyleniu standardowym (aso),



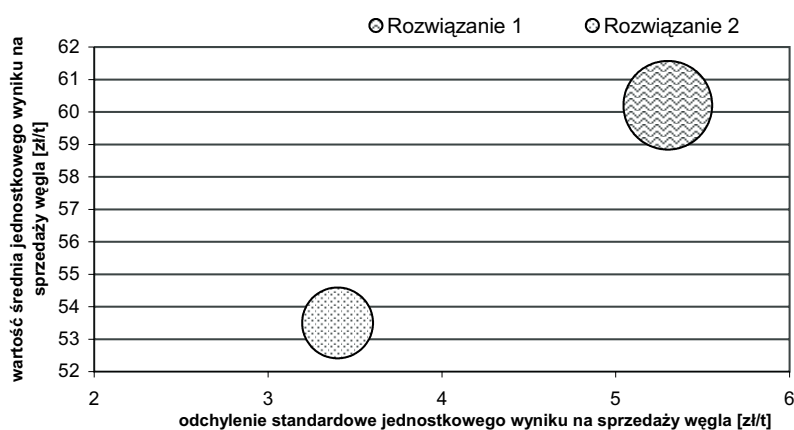
Rys. 2.1. Przykład porównania ze sobą wyników dwóch rozwiązań w zbiorze DKB

Źródło: opracowanie własne

Fig. 2.1. Example of two results in DKB set

— istnieje rozwiązanie 2 o niższej niż w rozwiązaniu 1 wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży węgla ($axsr$), ale o minimalnym odchyleniu standardowym (aso).

Przypadki powyższe przedstawiono na rysunku 2.2.



Rys. 2.2. Przykład porównania ze sobą wyników dwóch rozwiązań w zbiorze DAB
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2.2. Example of two results in DAB set

Wybierając rozwiązanie 1 decydent może spodziewać się największej wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży węgla w badanym okresie, ale jednocześnie może narazić się na znaczne ryzyko jej niedotrzymania bądź przekroczenia, ponieważ rozwiązanie to charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem otrzymywanych wartości wyrażonym odchyleniem standardowym. Wybierając natomiast rozwiązanie 2 może spodziewać się nieznacznego ryzyka niedotrzymania bądź przekroczenia wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży węgla w badanym okresie, która jednak różni się znacznie od wartości maksymalnej.

Ostateczna decyzja o wyborze najlepszego rozwiązania zależy od:

- preferowanego przez decydenta kryterium optymalizacji,
- stosunku decydenta do ryzyka.

Jeżeli wybrane rozwiązanie różni się jednak znacznie od planowanych wartości badanych charakterystyk można zastosować działania mające na celu wyznaczenie koniecznych zmian w planie prowadzenia robót górniczych na podstawie otrzymanych harmonogramów.

Podsumowanie

W niniejszym artykule została opisana procedura optymalizacji wykorzystana do wyboru najlepszego rozwiązania spośród wyników obliczeń wykonanych według metody mode-

lowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego. W piątej, ostatniej części artykułu zostanie przedstawiony przykład zastosowania opracowanej metody w wybranej polskiej kopalni węgla kamiennego.

Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy nr 4 T12A 064 30

LITERATURA

- Brzywczy E., 2005 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Praca doktorska, Kraków.
- Brzywczy E., 2005 – Wykorzystanie WAP w modelowaniu produkcji górniczej. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 110, seria Konferencje nr 42. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Brzywczy E., 2006a – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia. Gosp. Sur. Min. t. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzywczy E., 2006b – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 2. Teoria technik sieciowych i budowa sieci stochastycznej. Gos. Sur. Min. t. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzywczy E., 2006c – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 3. Model matematyczny. Gos. Sur. Min. t. 3, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

EDYTA BRZYWCZY

MODELLING AND OPTIMISATION METHOD OF MINING WORKS IN HARD COAL MINE WITH AN APPLICATION OF STOCHASTIC NETWORKS. PART 4. OPTIMIZATION PROCEDURE

Key words

Modelling, optimisation, mining works, stochastic networks, GAN networks, GERT method

Abstract

The article presents optimization procedure introduced to modelling and optimization method of mining works in hard coal mine with an application of stochastic networks. Presented method could be an useful tool to design process of future mining works in coal mine, according to technical and economical plans.