

EDYTA BRZYCHCZY*

**Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni
węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych.
Część 5: Przykład zastosowania opracowanej metody
w wybranej kopalni**

Słowa kluczowe

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

Streszczenie

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

Wprowadzenie

W piątej części cyklu artykułów poświęconego metodzie modelowania i optymalizacji robót górniczych z wykorzystaniem sieci stochastycznych przybliżono przykład jej zastosowania w kopalni węgla kamiennego. Dla określonych warunków górniczo-geologicznych i techniczno-organizacyjnych charakteryzujących wybraną kopalnię przygotowano warianty prowadzenia robót górniczych ze szczególnym uwzględnieniem posiadanego wyposażenia i ograniczeń wynikających z jego dostępności. Według algorytmu opracowanej metody

* Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

Recenzent prof. dr hab. inż. Czesław Cyrnek

wykonano obliczenia i ze względu na przyjęte kryterium wybrano najlepsze rozwiązanie (wariant). Dla wybranego wariantu wykreślono harmonogram realizacji robót górniczych wraz z pełną charakterystyką techniczno-ekonomiczną.

Z uwagi na objętość wyników obliczeń oraz dla czytelności niniejszego artykułu pewne szczegółowe informacje nie są w nim zamieszczone (do danych tych podano stosowne odsyłacze).

2. Przykład zastosowania opracowanej metody

Kopalnia „KKK” jest jedną z kopalń wchodzącą w skład Spółki Węglowej „AAA”.

Złoże charakteryzują następujące wybrane warunki górniczo-geologiczne:

- litologię skał otaczających kopalinę tworzą głównie łupki ilaste,
- forma złoża: pokładowa,
- liczba pokładów: 2,
- kopalina główna złoża: węgiel kamienny – typ 32.1,
- parametry jakościowe węgla: zawartość popiołu: 4–7%, zawartość siarki 0,44–0,87%, wartość opałowa węgla: 28400–30700 kJ/kg,
- miąższość pokładu P01: śr. 9 m,
- miąższość pokładu P02: śr. 1,3 m,
- kopalnia należy do słabo zawodnionych,
- do zagrożeń eksploatacji należy zaliczyć:
 - zagrożenie metanowe,
 - tapaniami,
 - pyłowe,
 - w małym stopniu wodne.

Kopalnię charakteryzuje złożowa struktura udostępnienia. Wszystkie ściany prowadzone są systemem od pola. Kopalnia prowadzi eksploatację ścian zarówno na zawał, jak i na podsadzkę. Udział ścian podsadzkowych w liczbie ścian ogółem sięga 60%. Żywotność kopalni liczona stosunkiem zasobów operatywnych do wydobycia wynosi 15 lat. Wydobycie roczne kopalni sięga 1,5 mln ton.

2.1. Dane wejściowe

W kopalni węgla kamiennego „KKK” proces produkcyjny jest realizowany w czterech ciągach produkcyjnych.

W każdym z ciągów występują możliwości zastosowania różnych maszyn i urządzeń do realizacji procesu produkcyjnego w obiektach ścianowych do niego należących.

Charakterystykę ciągów produkcyjnych zestawiono w tabeli 1.

Na ciąg produkcyjny nr 1 składają się trzy obiekty ścianowe, podobnie w ciągu nr 2, ciągu produkcyjnym nr 3 znajdują się dwa obiekty oraz w ciągu nr 4 trzy obiekty ścianowe.

TABELA 1

Charakterystyka ciągów produkcyjnych

TABLE 1

Characteristics of production flows

Ciągi produkcyjne	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄
	OS ₁₁	OS ₂₁	OS ₃₁	OS ₄₁
	OS ₁₂	OS ₂₂	OS ₃₂	OS ₄₂
	OS ₁₃	OS ₂₃	–	OS ₄₃

Na obiekty ścianowe w wyróżnionych ciągach składają się obiekty przestrzenne, które zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Obiekty składowe poszczególnych obiektów ścianowych

TABLE 2

Objects grouped in wall objects

Obiekty ścianowe	OS ₁₁	OS ₁₂	OS ₁₃	OS ₂₁	OS ₂₂	OS ₂₃	OS ₃₁	OS ₃₂	OS ₄₁	OS ₄₂	OS ₄₃
Chodnik nadścianowy	CHN ₁₁	CHN ₁₂	CHN ₁₃	CHN ₂₁	CHN ₂₂	CHN ₂₃	CHN ₃₁	CHN ₃₂	CHN ₄₁	CHN ₄₂	CHN ₄₃
Chodnik podścianowy	CHP ₁₁	CHP ₁₂	CHP ₁₃	CHP ₂₁	CHP ₂₂	CHP ₂₃	CHP ₃₁	CHP ₃₂	CHP ₄₁	CHP ₄₂	CHP ₄₃
Przecinka ścianowa	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₃₁	P ₃₂	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃
Ściana	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₃₁	S ₃₂	S ₄₁	S ₄₂	S ₄₃

W skład każdego obiektu ścianowego wchodzi określone wyrobiska charakteryzowane, w zależności od ich typu, zespołem cech. Dla wyrobisk korytarzowych wybrano 52 cechy, natomiast dla wyrobisk wybierkowych (prowadzonych ścian) 53 cechy. Cechy opisują warunki górniczo-geologiczne oraz techniczno-organizacyjne w prowadzonych wyrobiskach. Ich szczegółowe zestawienie prezentuje praca (Brzychczy 2005a).

Wyposażenie stanowi siedem zestawów ścianowych, w skład których wchodzi odpowiednio dla przyjętej technologii maszyny i urządzenia. Ich charakterystykę ogólną przedstawia tabela 3.

Każdy element takiego zestawu jest szczegółowo opisany cechami właściwymi dla danego typu maszyny, których zestawienie podano w pracy (Brzychczy 2005a).

Na podstawie uwarunkowań górniczo-geologicznych oraz techniczno-organizacyjnych wyznaczono macierze alokacji wyposażenia.

Wszystkie kombajny chodnikowe posiadają odpowiednie parametry do pracy we wszystkich projektowanych wyrobiskach chodnikowych, natomiast macierz alokacji wyposażenia dla ścian przedstawiono w tabeli 4.

TABELA 3

Zestawy ścianowe

TABLE 3

Wall equipment

Zestaw ścianowy	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
Kombajn	MSK ₁	MSK ₂	MSK ₃	MSK ₄	MSK ₅	MSK ₆	MSK ₇
Obudowa	ZOb ₁	ZOb ₁	ZOb ₂	ZOb ₂	ZOb ₃	ZOb ₄	ZOb ₄
Przenośnik ścianowy	MSPS ₁	MSPS ₂	MSPS ₄	MSPS ₃	MSPS ₅	MSPS ₂	MSPS ₁
Przenośnik podścianowy	MSPP ₁	MSPP ₁	MSPP ₂	MSPP ₂	MSPP ₄	MSPP ₃	MSPP ₃

TABELA 4

Macierz alokacji dla wyposażenia ścian

TABLE 4

Allocation matrix for wall equipment

	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₁	S ₂₂	S ₃₁	S ₃₂	S ₄₁	S ₄₂	S ₄₃
Z ₁	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z ₂	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z ₃	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z ₄	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Z ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Z ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Z algorytmu proponowanej metody wynika potrzeba zgromadzenia danych o obiektach przestrzennych realizowanych w przeszłości wraz z charakterystyką warunków górniczo-geologicznych, techniczno-organizacyjnych oraz danymi kosztowymi. Dane historyczne, które zostały zgromadzone w przykładowej bazie obiektów zamieszczono w Załącznikach 1 i 2 do pracy (Brzychczy 2005a). Załącznik 1 obejmuje dane dotyczące 39 ścian, natomiast Załącznik 2 zawiera dane dotyczące 45 wyrobisk korytarzowych prowadzonych w przeszłości.

2.2. Wybór możliwych wariantów prowadzenia robót górniczych

W kopalni „KKK” nie istnieją możliwości alternatywnego rozcięcia złoża i wyboru innych obiektów ścianowych do realizacji. Wszystkie pola eksploatacyjne są udostępnione, a w najbliższym okresie nie planuje się budowy nowych poziomów. Istnieje jednak wariantowa możliwość doboru maszyn i urządzeń do realizacji robót górniczych w obiektach ścianowych.

Na podstawie danych dotyczących obiektów technicznych i macierzy alokacji istnieje 512 możliwości prowadzenia robót górniczych przy wykorzystaniu posiadanych maszyn i urządzeń. Wprowadzono jednak pewne ograniczenia wynikające z dostępności maszyn i urządzeń:

- W zestawie 1 i 7 występuje ten sam obiekt techniczny – przenośnik ścianowy, podobnie w zestawie 2 i 6, również występuje ten sam obiekt techniczny – przenośnik ścianowy, co wyklucza pracę tych zestawów jednocześnie.
- Przyjęto założenie, że drażnienie przecinki odbywa się za pomocą obiektu technicznego kończącego roboty przygotowawcze w danym obiekcie ścianowym.
- Wybór obiektu technicznego do robót przygotowawczych w pierwszym obiekcie ścianowym danego ciągu skutkuje jego wykorzystaniem do robót przygotowawczych w pozostałych obiektach.

Z przyjętych założeń oraz ograniczeń wynikających z charakterystyki dostępnych maszyn i urządzeń ostatecznie przyjęto 64 możliwości prowadzenia robót górniczych.

Do dalszych obliczeń przygotowano 20 wariantów prowadzenia robót górniczych w kopalni „KKK” przy wykorzystaniu odpowiednich maszyn i urządzeń. Warianty te różnią się pomiędzy sobą prawdopodobieństwami realizacji poszczególnych robót przy wykorzystaniu przypisanych do nich maszyn i urządzeń.

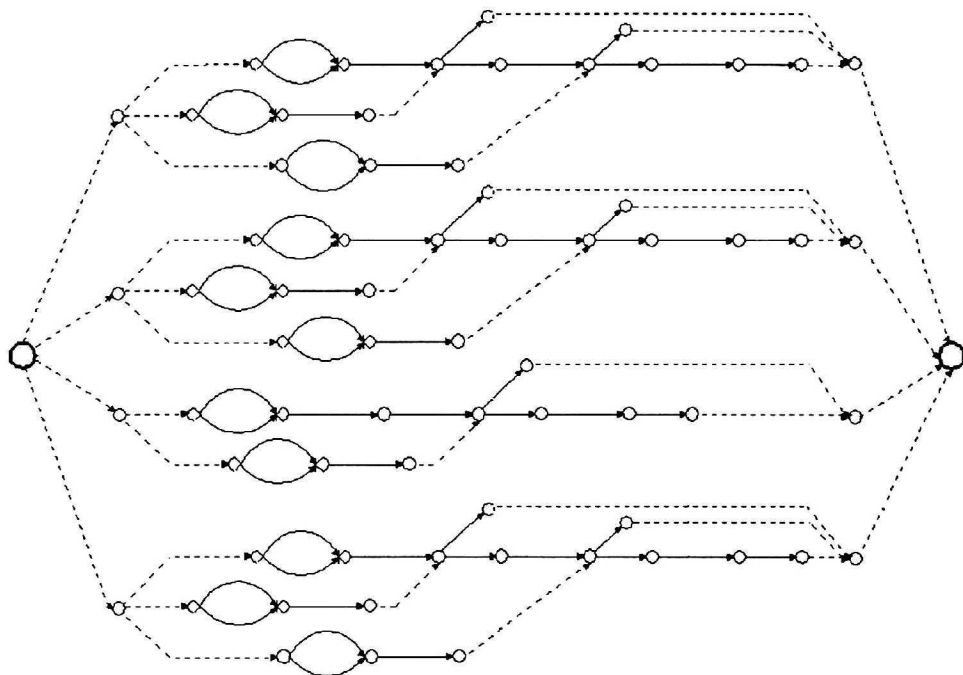
Opracowaną sieć stochastyczną oraz charakterystykę jej łuków i wierzchołków dla danych wariantów przedstawiono w rozdziale 2.3 niniejszego artykułu.

2.3. Opis sieci stochastycznej

Dla oddania przebiegu procesu produkcyjnego w kopalni „KKK” wykreślono sieć stochastyczną obejmującą wszystkie możliwości prowadzenia robót górniczych w czterech ciągach produkcyjnych.

Wykreślona sieć, przedstawiona na rysunku 1, składa się z 96 łuków i 69 wierzchołków. W sieci wyróżniono 18 wierzchołków losowych oraz 51 wierzchołków zdeterminowanych. Każdy wierzchołek ma nadany numer i ponadto charakteryzowany jest przez łuki wchodzące do i wychodzące z niego (z uwagi na czytelność rysunku numerację pominięto).

W tabeli 5 zestawiono pełne charakterystyki wszystkich czynności w obiektach ścianowych w każdym ciągu. Każda czynność opisana jest symbolem robót górniczych jakich dotyczy, symbolem obiektu ścianowego na którym roboty są wykonywane oraz symbolem pracującego w wyrobisku wyposażenia.



Rys. 1. Schemat sieci stochastycznej

Fig. 1. Scheme of stochastic network

W tabeli 5 zamieszczono także czynności alternatywne oznaczone indeksami (a), (b), które mają wpływ na dalszy przebieg robót górniczych. Szczególną uwagę należy zwrócić na prace zbrojeniowe, jeżeli bowiem istnieje możliwość alternatywnego wyposażenie dla danej ściany, to przypisanie danego zestawu na tym etapie robót górniczych powoduje, że dalsze prace, tj. roboty eksploatacyjne oraz likwidacyjne, dotyczą tego wybranego zestawu.

2.4. Charakterystyka obliczeń

W pierwszym etapie obliczeń wynikła potrzeba znalezienia odpowiednich charakterystyk dla prowadzonych robót górniczych z bazy obiektów prowadzonych w przeszłości. W tym celu podzielono zgromadzone w bazie dane na dwie grupy:

1. Dane dotyczące robót prowadzonych w wyrobiskach korytarzowych.
2. Dane dotyczące robót prowadzonych w ścianach.

Według przyjętego algorytmu przeprowadzono obliczenia mające na celu wyłonienie podobnych do siebie wyrobisk i analizę prowadzonych w nich robót górniczych dla uzyskania poszukiwanych charakterystyk, tj. postępu danych robót oraz kosztu ich prowadzenia zależnych od warunków górniczo-geologicznych oraz techniczno-organizacyjnych panujących w charakteryzowanym wyrobisku. Szczegółowo ten krok algorytmu opisano między innymi w (Brzychczy 2006d).

Charakterystyka czynności prowadzonych w obiektach ścianowych

Characteristics of activities in wall objects

Ciąg	Obiekt ścianowy	Czynność	Obiekt podstawowy	Wypożyczenie	Czynność	Obiekt podstawowy	Wypożyczenie	Czynność	Obiekt	Wypożyczenie	Czynności następne (zależne)	
CP ₁	OS ₁₁	-	-	-	-	-	-	ZB ₁₁ (a)	S ₁₁	Z ₁	E ₁₁ (a)	LIK ₁₁ (a)
		-	-	-	-	-	-	ZB ₁₁ (b)		Z ₂	E ₁₁ (b)	LIK ₁₁ (b)
	OS ₁₂	RPP ₁₂ (a)	CHP ₁₂	MCH ₅	RO ₁₂ (a)	P ₁₂	MCH ₅	ZB ₁₂ (a)	S ₁₂	Z ₁	E ₁₂ (a)	LIK ₁₂ (a)
		RPP ₁₂ (b)	CHP ₁₂	MCH ₁	RO ₁₂ (b)	P ₁₂	MCH ₁	ZB ₁₂ (b)		Z ₂	E ₁₂ (b)	LIK ₁₂ (b)
	OS ₁₃	RPP ₁₃	CHP ₁₃	MCH ₁	RO ₁₃ (a)	P ₁₃	MCH ₁	ZB ₁₃ (a)	S ₁₃	Z ₁	E ₁₃ (a)	LIK ₁₃ (a)
		RPN ₁₃	CHN ₁₃	MCH ₅	RO ₁₃ (b)	P ₁₃	MCH ₅	ZB ₁₃ (b)		Z ₂	E ₁₃ (b)	LIK ₁₃ (b)
CP ₂	OS ₂₁	-	-	-	-	-	-	ZB ₂₁ (a)	S(1) ₂₁	Z ₃	E(1) ₂₁ (a)	LIK ₂₁ (a)
		-	-	-	-	-	-	ZB ₂₁ (b)		Z ₄	E(1) ₂₁ (b)	LIK ₂₁ (b)
		-	-	-	-	-	-	ZB ₂₁ (a)	S(2) ₂₁	Z ₃	E(2) ₂₁ (a)	LIK ₂₁ (a)
		-	-	-	-	-	-	ZB ₂₁ (b)		Z ₄	E(2) ₂₁ (b)	LIK ₂₁ (b)
	OS ₂₂	RPP ₂₂ (a)	CHP ₂₂	MCH ₆	RO ₂₂ (a)	P ₂₂	MCH ₆	ZB ₂₂ (a)	S(1) ₂₂	Z ₃	E(1) ₂₂ (a)	LIK ₂₂ (a)
								ZB ₂₂ (b)		Z ₄	E(1) ₂₂ (b)	LIK ₂₂ (b)
		RPP ₂₂ (b)	CHP ₂₂	MCH ₂	RO ₂₂ (b)	P ₂₂	MCH ₂	ZB ₂₂ (a)	S(2) ₂₂	Z ₃	E(2) ₂₂ (a)	LIK ₂₂ (a)
								ZB ₂₂ (b)		Z ₄	E(2) ₂₂ (b)	LIK ₂₂ (b)
	OS ₂₃	RPP ₂₃ (a)	CHP ₂₃	MCH ₂	RO ₂₃ (a)	P ₂₃	MCH ₂	ZB ₂₃ (a)	S ₂₃	Z ₃	E ₂₃ (a)	LIK ₂₃ (a)
		RPP ₂₃ (b)	CHP ₂₃	MCH ₆	RO ₂₃ (b)	P ₂₃	MCH ₆	ZB ₂₃ (b)		Z ₄	E ₂₃ (b)	LIK ₂₃ (b)
CP ₃	OS ₃₁	-	-	-	RO ₃₁ (a)	P ₃₁	MCH ₃	ZB ₃₁	S ₃₁	Z ₅	E ₃₁	LIK ₃₁
		-	-	-	RO ₃₁ (b)	P ₃₁	MCH ₇					
	OS ₃₂	RPN ₃₂ (a)	CHN ₃₂	MCH ₇	RO ₃₂ (a)	P ₃₂	MCH ₇	ZB ₃₂	S ₃₂	Z ₅	E ₃₂	LIK ₃₂
		RPN ₃₂ (b)	CHN ₃₂	MCH ₃	RO ₃₂ (b)	P ₃₂	MCH ₃					
CP ₄	OS ₄₁	-	-	-	-	-	-	ZB ₄₁ (a)	S ₄₁	Z ₇	E ₄₁ (a)	LIK ₄₁ (a)
		-	-	-	-	-	-	ZB ₄₁ (b)		Z ₆	E ₄₁ (b)	LIK ₄₁ (b)
	OS ₄₂	RPN ₄₂ (a)	CHN ₄₂	MCH ₈	RO ₄₂ (a)	P ₄₂	MCH ₈	ZB ₄₂ (a)	S ₄₂	Z ₇	E ₄₂ (a)	LIK ₄₂ (a)
		RPN ₄₂ (b)	CHN ₄₂	MCH ₄	RO ₄₂ (b)	P ₄₂	MCH ₄	ZB ₄₂ (b)		Z ₆	E ₄₂ (b)	LIK ₄₂ (b)
	OS ₄₃	RPN ₄₃	CHN ₄₃	MCH ₈	RO ₄₃ (a)	P ₄₃	MCH ₄	ZB ₄₃ (a)	S ₄₃	Z ₇	E ₄₃ (a)	LIK ₄₃ (a)
		RPP ₄₃	CHP ₄₃	MCH ₄	RO ₄₃ (b)	P ₄₃	MCH ₈	ZB ₄₃ (b)		Z ₆	E ₄₃ (b)	LIK ₄₃ (b)

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla robót prowadzonych w przyszłych obiektach przyjęto jako obowiązujące charakterystyki z obiektów prowadzonych w przeszłości (postęp robót, koszt ich prowadzenia), które zestawiono w tabelach 6 i 7.

TABELA 6

Przyjęte charakterystyki dla prowadzonych robót w wyrobiskach korytarzowych

TABLE 6

Assumed characteristics of works in excavations

Czynność	Postęp robót		Koszt drażenia	
	μ [m/d]	σ [m/d]	B_{rp} [zł/m]	C_{rp} [zł/d]
RPP ₁₂ (a)	8,77	2,57	1 928,40	2 131,54
RPP ₁₂ (b)	7,92	2,11	1 962,10	2 531,00
RPP ₁₃	9,90	1,86	1 485,62	2 501,32
RPN ₁₃	7,86	1,78	1 960,00	2 200,00
RPP ₂₂ (a)	9,11	2,96	2 144,35	2 845,11
RPP ₂₂ (b)	7,86	1,78	1 960,00	2 200,00
RPP ₂₃ (a)	6,90	1,30	2 456,00	3 920,00
RPP ₂₃ (b)	9,26	3,15	1 785,16	1 955,15
RPN ₃₂ (a)	9,11	2,96	2 144,35	2 845,11
RPN ₃₂ (b)	8,83	2,34	1 897,20	1 728,53
RPN ₄₂ (a)	7,27	2,99	2 365,00	3 456,12
RPN ₄₂ (b)	6,27	2,89	2 008,23	3 351,87
RPN ₄₃	8,77	2,57	1 928,40	2 131,54
RPP ₄₃	6,23	2,45	1 862,35	2 956,00
RO ₁₂ (a)	7,37	2,15	2 259,24	3 122,45
RO ₁₂ (b)	6,74	2,51	2 283,67	4 294,61
RO ₁₃ (a)	6,74	2,51	2 283,67	4 294,61
RO ₁₃ (b)	7,42	2,68	1 962,00	5 462,00
RO ₂₂ (a)	7,42	2,68	1 962,00	5 462,00
RO ₂₂ (b)	6,71	2,95	1 311,28	3 012,43
RO ₂₃ (a)	6,89	2,71	1 989,96	3 207,98
RO ₂₃ (b)	7,37	2,15	2 259,24	3 122,45
RO ₃₁ (a)	6,17	1,65	3 002,95	3 261,65
RO ₃₁ (b)	8,20	2,15	2 236,12	4 905,36
RO ₃₂ (a)	8,62	3,75	2 650,00	3 120,18
RO ₃₂ (b)	6,17	1,65	3 002,95	3 261,65
RO ₄₂ (a)	7,37	2,15	2 259,24	3 122,45
RO ₄₂ (b)	6,74	2,51	2 283,67	4 294,61
RO ₄₃ (a)	6,74	2,51	2 283,67	4 294,61
RO ₄₃ (b)	7,42	2,68	1 962,00	5 462,00

TABELA 7

Przyjęte charakterystyki dla prowadzonych robót w ścianach

TABLE 7

Assumed characteristics of works in excavations

Czynność	Postęp robót		Koszt robót eksploatacyjnych		Koszt robót zbrojeniowych		Koszt robót likwidacyjnych	
	μ [m/d]	σ [μ/δ]	B_e [zł/m]	C_e [zł/d]	I_{zb} [zł/m/d]	J_{zb} [zł/d]	I_{lik} [zł/m/d]	J_{lik} [zł/d]
E ₁₁ (a)	1,90	0,52	8 966,42	11 020,45	141,32	5 142,75	70,66	2 571,38
E ₁₁ (b)	2,62	0,77	16 622,23	9 622,41	97,20	4 866,23	48,60	2 433,12
E ₁₂ (a)	2,67	0,63	13 956,21	9 556,12	139,20	3 750,65	69,60	1 875,33
E ₁₂ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33
E ₁₃ (a)	2,38	0,47	11 221,85	8 499,21	142,65	3 952,00	71,33	1 976,00
E ₁₃ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33
E(1) ₂₁ (a)	3,96	0,96	5 632,21	8 659,14	98,62	3 562,22	49,31	1 781,11
E(1) ₂₁ (b)	4,81	1,96	6 120,34	17 266,47	62,13	7 145,62	31,07	3 572,81
E(2) ₂₁ (a)	2,67	0,63	13 956,21	9 556,12	139,20	3 750,65	69,60	1 875,33
E(2) ₂₁ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33
E(1) ₂₂ (a)	3,96	0,96	5 632,21	8 659,14	98,62	3 562,22	49,31	1 781,11
E(1) ₂₂ (b)	4,81	1,96	6 120,34	17 266,47	62,13	7 145,62	31,07	3 572,81
E(2) ₂₂ (a)	2,67	0,63	13 956,21	9 556,12	139,20	3 750,65	69,60	1 875,33
E(2) ₂₂ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33
E ₂₃ (a)	3,96	0,96	5 632,21	8 659,14	98,62	3 562,22	49,31	1 781,11
E ₂₃ (b)	4,81	1,96	6 120,34	17 266,47	62,13	7 145,62	31,07	3 572,81
E ₃₁	4,57	1,54	5 322,87	16 255,45	58,95	2 766,45	29,48	1 383,23
E ₃₂	4,57	1,54	5 322,87	16 255,45	58,95	2 766,45	29,48	1 383,23
E ₄₁ (a)	1,90	0,52	8 966,42	11 020,45	141,32	5 142,75	70,66	2 571,38
E ₄₁ (b)	1,91	0,67	22 284,71	10 101,80	144,20	5 200,00	72,10	2 600,00
E ₄₂ (a)	1,90	0,52	8 966,42	11 020,45	141,32	5 142,75	70,66	2 571,38
E ₄₂ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33
E ₄₃ (a)	1,90	0,52	8 966,42	11 020,45	141,32	5 142,75	70,66	2 571,38
E ₄₃ (b)	2,89	0,54	9 945,16	10 655,23	115,36	5 122,65	57,68	2 561,33

Do dalszych obliczeń przyjęto, że czas robót zbrojeniowych i likwidacyjnych związanych z podanymi zestawami wynosi 40 dni roboczych. Założono również, z powodu braku dostępu do danych o kosztach robót likwidacyjnych, że ich koszt odpowiada połowie kosztu zbrojenia.

Dla przyjętych charakterystyk rozkładu prawdopodobieństwa postępu dobowego do pojedynczych obliczeń symulacyjnych brany był pod uwagę wylosowany postęp zawierający się w przedziale $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$.

Ponadto przyjęto również funkcje kosztów dla pozostałych centrów kosztowych, charakterystyczne dla kopalni „KKK”, które zestawiono w tabeli 8.

TABELA 8

Współczynniki funkcji kosztu dla pozostałych centrów kosztowych

TABLE 8

Coefficients of cost function for residual cost centers

Lp.	Centrum kosztowe	Koszt	
		F_i [zł/t]	G_i [zł/d]
1.	Centrum przewozu i transportu dołowego	0,4984	25 971,09
2.	Centrum wentylacyjne	0,2202	32 952,77
3.	Centrum elektryczne	0,3287	86 059,63
4.	Centrum mechaniczne	0,1433	28 896,40
5.	Centrum szybowe	0,5000	139 339,29
6.	Centrum przeróbki mechanicznej	0,9778	96 164,81
7.	Centrum pozostałe	0,0	268 899,52

Dla podanych charakterystyk robót górniczych realizowanych w poszczególnych obiektach oraz pozostałych danych wykonano obliczenia metodą symulacyjną Monte Carlo z wykorzystaniem generatora liczb losowych dla podanych rozkładów prawdopodobieństwa.

W pierwszym etapie wykonano działania dotyczące obliczeń na opracowanej sieci stochastycznej. Dla poszczególnych ciągów produkcyjnych z uwzględnieniem możliwości prowadzenia w nich robót górniczych wykonano 100 losowań postępów robót z przyjętych do ich opisu rozkładów i obliczono dla każdego dnia roboczego wartości następujących charakterystyk:

- kosztu prowadzonych robót [zł/d],
- wielkości wydobywania netto pochodzącego z prowadzonych robót [t/d],
- wartości węgla pochodzącego z robót górniczych [zł/d].

Następnie wyznaczono następujące wartości charakterystyk dla poszczególnych ciągów:

- miesięczny koszt prowadzonych robót [zł/m-c],
- miesięczną wielkość wydobywania netto [t/m-c],
- miesięczną wartość węgla pochodzącego z robót górniczych [zł/m-c].

Po przeprowadzeniu symulacji z uwzględnieniem prawdopodobieństwa realizacji robót górniczych w poszczególnych ciągach dla każdego wariantu określono:

- miesięczny koszt prowadzonych robót w ciągach ogółem [zł/m-c],
- miesięczną wielkość wydobywania netto w ciągach ogółem [t/m-c],

- wielkość wydobycia netto w ciągach ogółem [t/kwartał],
- miesięczną wartość węgla pochodzącego z robót górniczych w ciągach ogółem [zł/m-c],

na podstawie których obliczono jednostkową wartość węgla (przewidywaną cenę), koszt jednostkowy sprzedanego węgla oraz jednostkowy wynik na sprzedaży w badanym okresie, a następnie określono parametry rozkładów prawdopodobieństwa badanych charakterystyk.

Obliczenia takie wykonano dla każdego z 20 wariantów, a ich szczegółowe wyniki przedstawiono w (Brzychczy 2005a).

TABELA 9

Parametry rozkładu prawdopodobieństwa jednostkowego kosztu sprzedanego węgla i jednostkowego wyniku na sprzedaży dla poszczególnych wariantów w badanym okresie

TABLE 9

Parameters of probability distribution of unit cost of sold coal and unit profit for variants in analysed period

Nr wariantu	Wartość średnia kosztu jednostkowego k_{xsr} [zł/t]	Odchylenie standardowe kosztu jednostkowego k_{so} [zł/t]	Wartość średnia jednostkowego wyniku na sprzedaży a_{xsr} [zł/t]	Odchylenie standardowe jednostkowego wyniku na sprzedaży a_{so} [zł/t]
W1	149,02	3,40	65,22	3,32
W2	149,23	3,62	65,02	3,54
W3	148,80	3,57	65,44	3,48
W4	148,54	3,34	65,66	3,26
W5	147,65	3,64	66,51	3,56
W6	150,91	2,59	63,41	2,53
W7	151,45	2,72	62,88	2,66
W8	149,14	3,69	65,05	3,61
W9	146,55	2,95	67,57	2,94
W10	148,67	3,31	65,54	3,21
W11	148,60	4,22	65,57	4,15
W12	147,46	2,99	66,71	2,93
W13	146,82	3,55	67,35	3,48
W14	145,26	3,16	68,86	3,13
W15	147,41	2,01	66,74	1,99
W16	147,42	3,89	66,71	3,83
W17	148,87	3,66	65,28	3,58
W18	151,60	2,06	62,72	2,03
W19	147,23	2,16	66,90	2,14
W20	150,36	3,88	63,94	3,81

W tabeli 9 zestawiono wybrane charakterystyki:

- parametry rozkładów prawdopodobieństwa jednostkowego kosztu sprzedanego węgla dla poszczególnych wariantów dla $do = 24$ miesiące (czyli za badany okres),
- parametry rozkładów prawdopodobieństwa jednostkowego wyniku na sprzedaży dla poszczególnych wariantów dla $do = 24$ miesiące (czyli za badany okres),

które stają się podstawą do wyboru najlepszego rozwiązania. Parametry rozkładów prawdopodobieństwa wydobycia dla poszczególnych wariantów za badany okres szczegółowo przedstawione są w (Brzychczy 2005a).

Dla obliczonych wariantów wartość średnia jednostkowego kosztu sprzedanego węgla zawiera się w przedziale 145,26–151,60 zł/t, natomiast odchylenie standardowe jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w przedziale 2,01–4,22 zł/t.

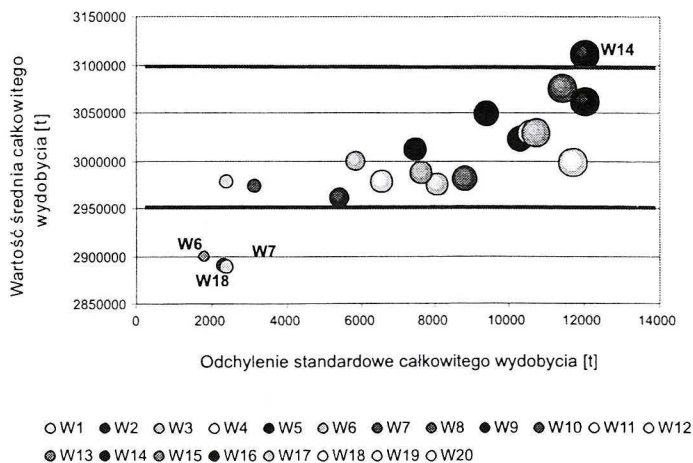
Wartość średnia jednostkowego wyniku na sprzedaży dla poszczególnych wariantów zawiera się w przedziale 62,72–68,86 zł/t, natomiast odchylenie standardowe jednostkowego wyniku na sprzedaży w przedziale 1,99–4,15 zł/t.

Aby znaleźć rozwiązanie najbardziej zbliżone do planowanego poziomu wydobycia założonego w planie techniczno-ekonomicznym i spełniającego wybrane kryterium optymalizacji przeprowadzono obliczenia według algorytmu podanego w (Brzychczy 2007).

2.5. Procedura optymalizacji

Aby znaleźć najlepsze rozwiązanie przeprowadzono następujący tok postępowania:

1. Aby wariant mógł zostać zaliczony do zbioru DP przyjęto, że obliczona dla niego wartość średnia całkowitego wydobycia w badanym okresie powinna się zawierać w przedziale od 2 950 000 do 3 100 000 ton. Warunek ten spełnia 16 wariantów, co obrazuje rysunek 2.



Rys. 2. Wartość średnia i odchylenie standardowe wielkości wydobycia w badanym okresie dla poszczególnych wariantów w stosunku do przyjętych założeń

Fig. 2. Mean and standard deviation of production for variants in analysed period according to assumptions

2. Dla wariantów należących do zbioru DP dokonano obliczeń odpowiednich odległości pomiędzy wartościami charakteryzującymi wydobycie kwartalne obliczone w danym wariantcie a wartościami zadanymi. Wyniki tych obliczeń zestawiono w tabeli 10.

TABELA 10

Odległości dW i dws obliczone dla wariantów ze zbioru DP

TABLE 10

Distances dW and dws for variants in DP set

Wariant \ Odległość	dW	dws
	PLAN	PLAN
W1	5,7579	11,0479
W2	4,5324	9,0183
W3	5,7756	10,7257
W4	6,2702	10,7967
W5	6,4038	10,8943
W8	5,4084	11,2767
W9	6,6828	10,3850
W10	6,6318	10,2181
W11	4,9966	10,2526
W12	6,9773	10,3008
W13	6,2735	9,2596
W15	7,8810	8,1859
W16	5,9837	8,3462
W17	5,0893	9,9512
W19	7,7540	8,2336
W20	4,6274	6,9519

Obliczono wartości krytyczne odległości:

— $dW_{kryt} = 6,0654$,

— $dws_{kryt} = 9,7403$,

na których podstawie do zbioru DWB zaliczono trzy warianty W2, W16 i W20.

3. Dla wariantów należących do zbioru DWB przyjęto odpowiednie wartości krytyczne i na ich podstawie wyznaczono zbiory DKB i DAB.

W tabeli 11 przedstawiono parametry rozkładów prawdopodobieństwa jednostkowego kosztu sprzedanego węgla i jednostkowego wyniku na sprzedaży dla wariantów ze zbioru DWB.

Parametry rozkładów prawdopodobieństwa badanych charakterystyk dla wariantów ze zbioru DWB

Parameters of probability distribution of analysed characteristics for variant in DWB set

Wariant \ Parametr	Wartość średnia kosztu jednostkowego k_{xsr} [zł/t]	Odchylenie standardowe kosztu jednostkowego k_{so} [zł/t]	Wartość średnia jednostkowego wyniku na sprzedaży a_{xsr} [zł/t]	Odchylenie standardowe jednostkowego wyniku na sprzedaży a_{so} [zł/t]
W2	149,23	3,62	65,02	3,54
W16	147,42	3,89	66,71	3,83
W20	150,36	3,88	63,94	3,81

Dla przyjętych wartości:

— $k_{xsr_{kryt}} = 151$ zł/t,

— $k_{so_{kryt}} = 4$ zł/t,

do zbioru DKB zaliczono wszystkie warianty ze zbioru DWB.

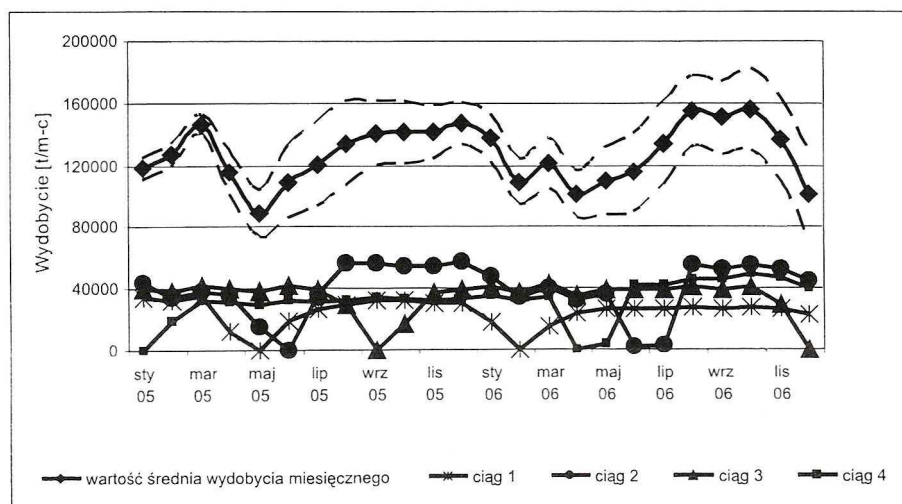
Dla przyjętych wartości:

— $a_{xsr_{kryt}} = 62$ zł/t,

— $a_{so_{kryt}} = 4$ zł/t,

do zbioru DAB również zaliczono wszystkie warianty ze zbioru DWB.

Wariantem o najwyższej wartości oczekiwanej jednostkowego wyniku na sprzedaży i zarówno najmniejszej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie jest wariant W16.



Rys. 3. Kształtowanie się wydobywania miesięcznego w wariantie W16

Fig. 3. Monthly coal production in variant W16

Numer ciągu produkcyjnego	Obiekt ścianowy	2-05	3-05	4-05	5-05	6-05	7-05	8-05	9-05	10-05	11-05	12-05	1-06	2-06	3-06	4-06	5-06	
CP1	OS11	1482	1482	1482														
	OS12	138	126 132	132			1239	1239	1239	1239	1239	1239	1239					
	OS13							122	122 275	275	275	275 133	133			1263	1263	1263
CP2	OS21	1391	1391	1391	1391													
	OS22	138	138	138 130	130			2576	2576	2576	2576	2576	2576	2576 1598	1598	1598	1598	1598
	OS23										137	137	137	137	137	137	148	
CP3	OS31	1776	1776	1776	1776	1776	1776	1776										
	OS32	129	129	129	129	129	107	107		1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	
CP4	OS41	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495	1495			
	OS42								121	121	121	121	121	121	126			
	OS43																	
Wydobycie ścianowy roboty przygotowawcze		6000	6740	5932	4261	4030	5925	7274	5589	6663	7736	7665	6409	5227	5861	4871	4882	
		5597	6344	5603	4067	3901	5818	7106	5330	6267	7203	7203	6085	4966	5598	4734	4734	
		403	396	329	194	129	107	168	259	396	533	462	325	261	263	137	148	
Wykaz																		
roboty przygotowawcze																		
drażenie przecinki																		
prace zbrojeniowe																		
eksploatacja																		
prace likwidacyjne																		

Rys. 4. Harmonogram robót górniczych dla wariantu 16 (wydobywanie podano w t/d)

Fig. 4. Mining works schedule in variant W16 (coal production in t/d)

Na tym etapie projektant może podjąć decyzję o zaproponowaniu wybranego wariantu W16 do realizacji, z uwzględnieniem możliwego ryzyka niedotrzymania bądź przekroczenia badanych wielkości wyrażonego odchyleniem standardowym.

Kształtowanie się wydobywania miesięcznego w wariancie W16 przedstawiono na rysunku 3. Liniami przerywanymi zaznaczono przedział $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$ wokół wartości średniej miesięcznego wydobywania.

Na podstawie otrzymanych wyników można wykreślić harmonogram prowadzenia robót górniczych, który w uproszczonym ujęciu może przyjąć postać przedstawioną na rysunku 4.

Realizacja takiego harmonogramu prowadzenia robót górniczych powinna skutkować osiągnięciem wydobywania dostosowanego do założeń planu techniczno-ekonomicznego przy najmniejszej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla i najwyższej wyniku jednostkowego na sprzedaży węgla w badanym okresie.

Podsumowanie

W przedstawionym artykule zaprezentowano przykład zastosowania metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w wybranej kopalni węgla kamiennego.

Niniejsza, piąta część artykułu kończy cykl publikacji na temat opracowanej przez Autorkę metody.

W dalszej pracy badawczej Autorka będzie dostosowywać opracowane dotychczas rozwiązania do zagadnienia modelowania robót górniczych w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym z wykorzystaniem elementów programowania ewolucyjnego.

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

LITERATURA

- Brzychczy E., 2005 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Praca doktorska, AGH, Kraków.
- Brzychczy 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.
- Brzychczy E., 2006 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia. Gosp. Sur. Min. t. 22, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzychczy E., 2006 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 2. Teoria technik sieciowych i budowa sieci stochastycznej. Gosp. Sur. Min. t. 22, z. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzychczy E., 2006 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 3. Model matematyczny. Gosp. Sur. Min. t. 22, z. 3, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

- Brzychczy E., 2006 – Zastosowanie wybranych metod ekonometrycznych w modelowaniu robót górniczych. Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Krynica.
- Brzychczy E., 2007 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 4. Procedura optymalizacji. Gosp. Sur. Min. t. 23, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

EDYTA BRZYCHCZY

**MODELLING AND OPTIMISATION METHOD OF MINING WORKS IN HARD COAL MINE WITH AN APPLICATION OF STOCHASTIC NETWORKS.
PART 5: APPLICATION OF EVOLVED METHOD IN HARD COAL MINE**

Key words

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

Abstract

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