

EDYTA BRZYCHCZY\*

## **Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia**

### Słowa kluczowe

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

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano podstawowe definicje i założenia opracowanej 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 decydena w sferze poziomu wyników produkcyjnych oraz ekonomiczno-finansowych.

### Wprowadzenie

Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych z wykorzystaniem sieci stochastycznych została opracowana jako nowoczesne narzędzie badawcze i analityczne mogące wspomóc proces decyzyjny podejmowany w kopalniach funkcjonujących w warunkach gospodarki rynkowej. Metoda powstała jako próba odpowiedzi na poszukiwanie nowych metod zarządzania i technik uwzględniających niepewność i różnego rodzaju ryzyko w działalności kopalni węgla kamiennego oraz specyfikę prowadzonej działalności górniczej.

Głównym elementem omawianej metody jest sieć stochastyczna, która poprzez swoją konstrukcję umożliwia płynne modelowanie przebiegu robót górniczych w czasie wraz

---

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

Recenzował prof. dr hab. inż. Czesław Cyrnek

z odwzorowaniem niepewności zarówno ich kolejności, jak i czasu ich trwania będących pochodną warunków górniczo-geologicznych i techniczno-organizacyjnych, w jakich te roboty są prowadzone.

Metoda wykorzystuje w szerokim zakresie dane z różnych obszarów działalności kopalni, które w sposób ciągły są rejestrowane w postaci elektronicznej — w bazach danych — oraz tradycyjnej (są to dane między innymi z systemów dyspozytorskich, ORK, SZYK). Analiza danych dotyczy zarówno wyrobisk prowadzonych w przeszłości, jak i wyrobisk projektowanych w celu wykorzystania doświadczeń kopalni prowadzącej już wydobywanie przy określonych uwarunkowaniach wewnętrznych do wnioskowania na przyszłość.

Z uwagi na złożoność opracowanej metody zostanie ona przedstawiona w cyklu artykułów opisujących jej podstawowe definicje i założenia, model matematyczny, procedurę optymalizacji z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z planu techniczno-ekonomicznego oraz przykład jej zastosowania.

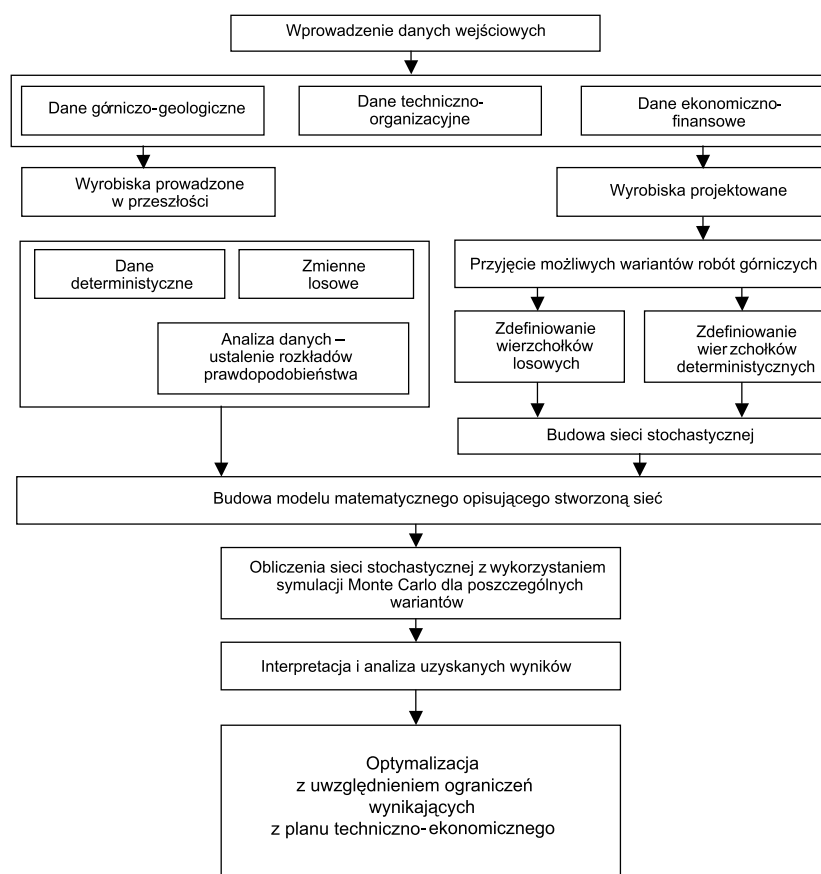
## 1. Wprowadzenie do metody

Pod pojęciem robót górniczych w nazwie metody rozumie się roboty udostępniające, roboty przygotowawcze, w tym drażnienie przecinek ścianowych, prace zbrojeniowe, roboty eksploatacyjne oraz prace likwidacyjne, natomiast sieci stochastyczne to sieci o strukturze niezdeterminowanej (probabilistycznej), w których każda czynność może być realizowana z określonym prawdopodobieństwem (Jaworski 1999; Organizacja... 1985). Sieci stochastyczne zapewniają, w odróżnieniu od sieci deterministycznych, możliwość wielowariantowego ustalania zależności pomiędzy zdarzeniami oraz wyboru różnych dróg postępowania przy realizacji danego przedsięwzięcia. Do analizy sieci stochastycznych metodami symulacyjnymi wykorzystano metodę GERTS, którą zaproponowano i szczegółowo opisano m.in. w pracach (Jaworski 1999; Organizacja... 1985; Trocki i in. 2003). Biorąc pod uwagę budowę sieci stochastycznych oraz metody na nich bazujące, które umożliwiają analizę złożonych przedsięwzięć prowadzonych w warunkach losowych, podjęto próbę ich wykorzystania do modelowania i optymalizacji robót górniczych prowadzonych w polach eksploatacyjnych kopalni węgla kamiennego.

Schemat opracowanej metody przedstawiono na rysunku 1.

Po wprowadzeniu danych wejściowych dotyczących warunków górniczo-geologicznych, techniczno-organizacyjnych oraz ekonomiczno-finansowych:

- dla wyrobisk prowadzonych w przeszłości przeprowadzona zostaje analiza statystyczna; dane zostają podzielone na dane deterministyczne oraz zmienne losowe, dla których ustalane zostają rozkłady prawdopodobieństwa.
- dla wyrobisk projektowanych przyjmuje się możliwe warianty robót górniczych, które umożliwiają zdefiniowanie wierzchołków losowych i zdeterminowanych sieci stochastycznej i jej kompletną budowę.



Rys. 1. Schemat opracowanej metody modelowania i optymalizacji robót górniczych  
 Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Scheme of modelling and optimisation method

Dla sieci powstaje model matematyczny, który między innymi wykorzystuje metody taksonomiczne dla przyjęcia do dalszych obliczeń odpowiednich charakterystyk robót górniczych z danych dotyczących przeszłości. Dla poszczególnych wariantów wykonuje się obliczenia symulacyjne na sieci stochastycznej i według podanej procedury optymalizacji wybiera się najlepszy z nich. Kryterium optymalizacji przy uwzględnieniu warunków ograniczających może stanowić:

- 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.

Do przeprowadzenia podanego toku postępowania należało przyjąć podstawowe definicje i założenia.

## 2. Podstawowe definicje i założenia metody

Prowadzenie eksploatacji węgla kamiennego wymaga dużego nakładu prac na wykonanie niezbędnej sieci wyrobisk korytarzowych i zapewnienie odpowiedniego frontu eksploatacji za pomocą przygotowanych wyrobisk wybierkowych (ścian). Przedstawienie procesu produkcyjnego prowadzonego w polach eksploatacyjnych w kopalni węgla kamiennego, na który składają się różnego rodzaju roboty górnicze, za pomocą sieci stochastycznych, które stanowią podstawę opracowanej metody, jest bardzo złożone i wymaga zdefiniowania szeregu elementów.

W pierwszym etapie wprowadzono pojęcia obiektów przestrzennych i technicznych oraz ciągu produkcyjnego.

Obiekt przestrzenny to ograniczona część przestrzeni kopalni, którą wydzielono ze względu na jej udział w procesie produkcyjnym. Obiekty przestrzenne dzielą się na podstawowe i złożone.

Przestrzennym obiektem podstawowym nazywa się wyrobisko górnicze, posiadające odpowiednią charakterystykę (warunki górniczo-geologiczne, techniczno-organizacyjne) wynikającą z jego uczestnictwa w procesie produkcyjnym. Na każdym obiekcie podstawowym odbywają się odpowiednie roboty górnicze.

Przestrzenny obiekt złożony pierwszego rzędu jest to obiekt składający się z kilku przestrzennych obiektów podstawowych przynależnych do siebie w wyznaczonej przestrzeni, w którym prowadzone roboty górnicze zapewniają określony przebieg procesu wydobywczego.

Obiekt techniczny to urządzenie techniczne (zasób produkcyjny) niezbędne do wykonania robót górniczych koniecznych z punktu widzenia przyjętej technologii. Podobnie jak w przypadku obiektów przestrzennych, obiekty techniczne również dzielą się na podstawowe i złożone.

Techniczny obiekt podstawowy to pojedyncze urządzenie techniczne wykonujące pracę wynikającą z przyjętej technologii prowadzenia robót górniczych.

Techniczny obiekt złożony to zestaw urządzeń technicznych, które wykonują pracę w odpowiednim układzie technologicznym.

Ciąg produkcyjny jest to powiązany następstwem czasowym zbiór obiektów przestrzennych wyposażonych w odpowiednie obiekty techniczne zapewniający ciągłość prowadzenia robót górniczych i realizację procesu produkcyjnego.

Tak zdefiniowane elementy przedstawione szczegółowo w rozdziałach 2.1—2.5 umożliwiają opis robót górniczych podany w rozdziale 2.6.

## 2.1. Podstawowe obiekty przestrzenne

Do podstawowych obiektów przestrzennych zaliczono:

1. Wyrobiska korytarzowe: chodnik nadścianowy (CHN), chodnik podścianowy (CHP), przecinkę ścianową (P) oraz wyrobisko udostępniające (WU),
2. Wyrobisko wybierkowe (ściana) (S).

Każdy podstawowy obiekt przestrzenny charakteryzuje zbiór cech odpowiedni ze względu na jego charakter i uwzględniający możliwe warianty technologiczne dotyczące prowadzenia w nim robót górniczych.

Opisy chodników przyścianowych można przedstawić następująco:

$$\begin{array}{l} srpn \\ srpkn \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} CHN \quad xchn_1 \\ \quad \quad xchn_2 \\ \quad \quad \dots \\ \quad \quad xchn_k \end{array}$$

$$\begin{array}{l} srpp \\ srpkp \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} CHN \quad xchp_1 \\ \quad \quad xchp_2 \\ \quad \quad \dots \\ \quad \quad xchp_k \end{array}$$

gdzie:

- $srpn(p)$  — wariant stanu robót przygotowawczych w chodniku, który przyjmuje następujące wartości: 0 — gdy chodnik jest wykonany, 1 — gdy chodnik jest do wykonania,
- $srpkn(p)$  — wariant kolejności drażenia chodników mogący przyjmować następujące wartości: 0 — gdy chodnik jest wykonany, 1 — gdy chodnik jest do wykonania jako pierwszy w kolejności, 2 — gdy chodnik jest do wykonania jako drugi w kolejności, jeżeli  $srpkn = srpkp = 1$  to chodniki będą prowadzone równolegle,
- $xchn_k = xchk$  —  $k$ -ta cecha opisująca chodnik nadścianowy,  $k = 1, 2, \dots, l$ ,
- $xchp_k = xchk$  —  $k$ -ta cecha opisująca chodnik podścianowy,  $k = 1, 2, \dots, l$ ,
- $l$  — liczba cech opisujących chodniki przyścianowe.

Przecinkę ścianową opisuje następujący zbiór cech oraz wariant jej drażenia:

$$\begin{array}{r}
 \text{sprz} \\
 \\
 P \quad \begin{array}{l}
 xch_1 \\
 xch_2 \\
 \dots \\
 xch_k
 \end{array}
 \end{array} \tag{3}$$

gdzie:

- sprz* — wariant drażenia przecinki ścianowej mogący przyjmować następujące wartości: 0 — gdy przecinka jest wykonana, 1 — gdy przecinka jest do wykonania w jednym kierunku, 2 — gdy przecinka jest do wykonania na zbiecie,
- xch<sub>k</sub>* — *k*-ta cecha opisująca przecinkę ścianową, dla *k* = 1, 2, ..., *l*,
- l* — liczba cech opisujących przecinkę ścianową.

Ścianę opisuje następujący zbiór cech oraz wariant zbrojenia danej ściany w maszyny i urządzenia (zestawy ścianowe):

$$\begin{array}{r}
 \text{szb} \\
 \\
 S \quad \begin{array}{l}
 xs_1 \\
 xs_2 \\
 \dots \\
 xs_s
 \end{array}
 \end{array} \tag{4}$$

gdzie:

- szb* — wariant zbrojenia danej ściany, dla którego przyjęto nadawać następujące wartości: 0 — gdy ściana będzie zazbrojona zestawem pracującym na poprzedniej ścianie w ciągu produkcyjnym, 1 — gdy ściana będzie zazbrojona innym zestawem,
- xs<sub>k</sub>* — *k*-ta cecha opisująca wyrobisko wybierkowe (ścianę), dla *k* = 1, 2, ..., *s*,
- s* — liczba cech opisujących wyrobisko wybierkowe (ścianę).

Szczególnym przypadkiem jest wyrobisko udostępniające pole eksploatacyjne, którego wykonanie ma istotny wpływ na przebieg procesu produkcyjnego, gdyż warunkuje rozpoczęcie robót górniczych w obiektach przynależnych do danego pola.

Wyrobisko udostępniające opisuje następujący zbiór cech oraz wariant jego prowadzenia:

$$sprz \quad (5)$$

$$P \begin{matrix} xch_1 \\ xch_2 \\ \dots \\ xch_k \end{matrix}$$

gdzie:

- $u$  — wariant stanu wykonania wyrobiska udostępniającego przyjmujący wartości: 0 — gdy wyrobisko jest wykonane, 1 — gdy wyrobisko jest do wykonania.
- $xch_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca wyrobisko udostępniające,  $k = 1, 2, \dots, l$ ,
- $l$  — liczba cech opisujących wyrobisko udostępniające.

## 2.2. Przestrzenny obiekt złożony pierwszego rzędu

Przestrzenny obiekt złożony pierwszego rzędu, jakim jest tzw. obiekt ścianowy (OS), można zapisać jako następujący zbiór obiektów podstawowych:

$$OS \begin{matrix} CHN \\ CHP \\ P \\ S \end{matrix} \quad (6)$$

W określonym momencie czasowym obiekt ścianowy jest reprezentowany przez obiekt podstawowy, stosownie do przebiegu procesu produkcyjnego.

## 2.3. Ciąg produkcyjny

Każdy obiekt ścianowy przypisany jest do ciągu produkcyjnego, który można zapisać jako:

$$CP_i \begin{matrix} OS_{i1} \\ OS_{i2} \\ \dots \\ OS_{ij} \end{matrix} \quad (7)$$

gdzie:

- $i$  — numer kolejny ciągu produkcyjnego, dla  $i = 1, 2, \dots, n$ ,
- $j$  — numer kolejny obiektu ścianowego w  $i$ -tym ciągu produkcyjnym.

Każdy obiekt ścianowy może zostać przypisany tylko do jednego ciągu produkcyjnego.

Do wykonania poszczególnych robót górniczych w obiektach przestrzennych przeznaczonych są odpowiednie obiekty techniczne.

#### 2.4. Podstawowe obiekty techniczne

W przypadku wyposażenia należy uwzględnić różnorodność maszyn i urządzeń wykorzystywanych w procesie produkcyjnym w kopalni.

Na podstawie uwarunkowań technologicznych wydzielono następujące techniczne obiekty podstawowe:

1. Obiekty przeznaczone dla wyrobisk korytarzowych (*MCH*):
  - kombajny chodnikowe (*MCH*),
2. Obiekty przeznaczone do prowadzenia eksploatacji w ścianie (*MS*):
  - kombajny ścianowe (*MSK*),
  - przenośniki ścianowe (*MSPS*),
  - przenośniki podścianowe (*MSPP*),
  - obudowy zmechanizowane (*MSOb*),
  - kruszarki (*MSKr*).

Obiekty *MCH* opisane są następującymi parametrami:

$$MCH_{nn} \begin{matrix} xmch_1 \\ xmch_2 \\ \dots \\ xmch_r \end{matrix} \quad (8)$$

gdzie:

- $nn$  — numer obiektu,  $nn = 1, 2, \dots, pp$ ,
- $xmch_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca  $nn$ -ty obiekt *MCH*,  $k = 1, 2, \dots, r$ ,
- $r$  — liczba cech opisujących obiekt *MCH*,
- $pp$  — liczba obiektów *MCH*.

Obiekty podstawowe *MCH<sub>n</sub>* są wprost przydzielane do poszczególnych wyrobisk korytarzowych należących do  $j$ -tego obiektu ścianowego.

Obiekt *MSK* opisuje następująca macierz:

$$MSK \begin{matrix} xmsk_1 \\ xmsk_2 \\ \dots \\ xmsk_h \end{matrix} \quad (9)$$



gdzie:

$xmsk_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca obiekt  $MSK$ ,  $k = 1, 2, \dots, h$ ,  
 $h$  — liczba cech opisujących obiekt  $MSK$ .

Obiekt  $MSPS$  można opisać następująco:

$$\begin{array}{l} xmsps_1 \\ xmsps_2 \\ \dots \\ xmsps_o \end{array} \quad (10)$$

$MSPS$

gdzie:

$xmsps_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca obiekt  $MSPS$ ,  $k = 1, 2, \dots, o$ ,  
 $o$  — liczba cech opisujących obiekt  $MSPS$ .

Obiekt  $MSPP$  opisuje następująca macierz:

$$\begin{array}{l} xmspp_1 \\ xmspp_2 \\ \dots \\ xmspp_o \end{array} \quad (11)$$

$MSPP$

gdzie:

$xmspp_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca obiekt  $MSPP$ ,  $k = 1, 2, \dots, o$ ,  
 $o$  — liczba cech opisujących obiekt  $MSPP$ .

Pojedynczy obiekt  $MSOb$  opisuje następująca macierz:

$$\begin{array}{l} xob_1 \\ xob_2 \\ \dots \\ xob_g \end{array} \quad (12)$$

$MSOb$

gdzie:

$xob_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca obiekt  $MSOb$ ,  $k = 1, 2, \dots, g$ ,  
 $g$  — liczba cech opisujących obiekt  $MSOb$ .

Obiekt  $MSKr$  można przedstawić następująco:

$$\begin{array}{l} xmskr_1 \\ xmskr_2 \\ \dots \\ xmskr_v \end{array} \quad (13)$$

$MSKr$

gdzie:

$xmskr_k$  —  $k$ -ta cecha opisująca obiekt  $MSKr$ ,  $k = 1, 2, \dots, v$ ,  
 $v$  — liczba cech opisujących obiekt  $MSKr$ .

### 2.5. Techniczne obiekty złożone i macierze alokacji

W przypadku obiektów podstawowych typu  $MS$  można stworzyć obiekty złożone tzw. zestawy ścianowe ( $Z$ ), które będą przydzielane do poszczególnych wyrobisk wybierkowych (ścian) w obiektach ścianowych.

Dla wyposażenia ścianowego istotne jest określenie liczby maszyn i urządzeń pracujących w danym wyrobisku. Wszystkie maszyny i urządzenia z wymienionych, oprócz obudów zmechanizowanych, występują najczęściej w wyrobisku pojedynczo, stąd też aby uprościć zapis macierzowy zestawów ścianowych w pierwszej kolejności należy stworzyć zestawy obudów zmechanizowanych ( $ZOb$ ).

Zestaw obudów zmechanizowanych można opisać następująco:

$$\begin{array}{r}
 ZOb \\
 \dots \\
 \dots \\
 \dots
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 MSOb_1 \text{ (szt)} \\
 MSOb_2 \text{ (szt)} \\
 \dots \\
 MSOb_{tt} \text{ (szt)}
 \end{array}
 \quad (14)$$

gdzie:

$tt$  — liczba typów obudowy zmechanizowanej.

Po zdefiniowaniu zestawów obudowy można przejść do tworzenia zestawów ścianowych. Każdy zestaw ścianowy składa się z następujących elementów:

$$\begin{array}{r}
 Z_{mm} \\
 \dots \\
 \dots \\
 \dots
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 MSK_{mm} \\
 MSPS_{mm} \\
 MSPP_{mm} \\
 ZOb_{mm} \\
 MSKr_{mm}
 \end{array}
 \quad (15)$$

gdzie:

$mm$  — numer zestawu,  $mm = 1, \dots, rr$ ,  
 $rr$  — liczba zestawów ścianowych.

Liczba tworzonych zestawów ograniczona jest przez najmniejszą liczebność danego typu obiektów podstawowych dla prowadzenia ścian. Wyjątkiem są obiekty  $MSKr$ , które są potrzebne w określonych warunkach górniczo-geologicznych i technologicznych w ścianie i nie muszą wchodzić w skład każdego zestawu.

Obiekty techniczne są przyporządkowane do obiektów przestrzennych, w których mogą być zastosowane uwzględniając uwarunkowania górnico-geologiczne oraz techniczno-organizacyjne tworząc tzw. macierze alokacji wyposażenia danego typu.

Przyjmując jako wskaźnik dopuszczalności zastosowania obiektu technicznego w danym obiekcie przestrzennym, który przyjmuje wartości:

$\alpha = 1$  — maszyna lub urządzenie może pracować w danym obiekcie,

$\alpha = 0$  — maszyna lub urządzenie nie może pracować w danym obiekcie,

tworzy się uwzględniając uwarunkowania technologiczne dwie macierze alokacji wyposażenia:

1. Macierz alokacji wyposażenia dla wyrobisk korytarzowych (*MWCH*),
2. Macierz alokacji wyposażenia dla ścian (*MWS*).

Macierz alokacji wyposażenia dla wyrobisk korytarzowych może przyjmować przykładowo postać:

$$(16)$$

	$WU_1$	$CHN_{11}$	$CHP_{11}$	$P_{11}$	$CHN_{12}$	$CHP_{12}$	$P_{12}$	...	$WU_n$	$CHN_{nm}$	$CHP_{nm}$	$P_{nm}$	
<i>MWCH</i>	$MCH_1$	1	0	0	0	1	0	1	...	0	0	0	1
	$MCH_2$	0	1	1	0	0	1	0	...	0	1	1	0
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$MCH_{pp}$	0	0	0	1	0	1	0	...	1	0	1	0

gdzie:

$pp$  — liczba obiektów MCH,

$n$  — liczba ciągów produkcyjnych,

$m$  — liczba obiektów w ciągu produkcyjnym.

Przykładową macierz alokacji wyposażenia ścian można przedstawić następująco:

$$(17)$$

		$S_{11}$	$S_{12}$	...	$S_{nm}$
	$Z_1$	1	0	...	1
<i>MWS</i>	$Z_2$	0	1	...	0
	...	...	...	...	...
	$Z_{rr}$	0	1	...	1

gdzie:

$rr$  — liczba zestawów ścianowych,

$n$  — liczba ciągów produkcyjnych,

$m$  — liczba obiektów w ciągu produkcyjnym.

## 2.6. Roboty górnicze

Na potrzeby metody wydzielono następujące roboty górnicze:

- roboty przygotowawcze (*RP*),
- drażenie przecinki (*RO*),
- prace zbrojeniowe (*ZB*),
- roboty eksploatacyjne (*E*),
- prace likwidacyjne (*LİK*),
- roboty udostępniające (*RU*).

Roboty górnicze wykonywane są w odpowiednich dla nich, z punktu widzenia technologii, wyrobiskach i przy użyciu odpowiednich zasobów produkcyjnych.

Przyjęto, że kopalnia posiada wystarczające zasoby ludzkie do wykonania planowanych robót. Założono również, że planowane roboty górnicze dla określonego przypadku nie przekraczają zdolności produkcyjnych transportu pionowego i poziomego. Wymienione prace wykonywane są w odpowiednich wyrobiskach (obiektach), do których są przypisane.

Każdy typ robót charakteryzują następujące elementy:

- obiekt przestrzenny którego dotyczą,
- wyposażenie obiektu przestrzennego w obiekty techniczne,
- data początku robót (*DP*),
- czas trwania robót (*t*) w dniach roboczych [d],
- data zakończenia robót (*DK*),
- postęp robót (*Pos*) [m/d] lub czas ich trwania (*T*) [d],
- koszt wykonania robót (*Koszt*) [zł/d],
- wielkość wydobycia brutto/netto dla robót związanych z drażeniem wyrobisk korytarzowych lub eksploatacją ściany (*Wdeb/Wden*) [t/d],
- wartość jednostkowa (przewidywana cena) węgla pochodzącego z wydobycia w danym wyrobisku (*JWW*) [zł/t] (obliczana wg odpowiedniej formuły cenowej).

Przyjęto, że roboty udostępniające, przygotowawcze oraz eksploatacyjne zadane są wielkością postępu, pozostałe typy robót charakteryzuje czas ich trwania.

Założono, że postęp robót jest zmienną losową o rozkładzie normalnym

$$N(\mu, \sigma)$$

gdzie:

- m* — wartość średnia,
- s* — odchylenie standardowe,

i zależy od warunków charakteryzujących dane wyrobisko i jego wyposażenie.

Założenie to przyjęto w oparciu o badania rozkładu postępu robót przygotowawczych i eksploatacyjnych opisanych w pracy Magdy i in. (2002), gdzie wykazano, że najczęściej postęp robót przygotowawczych i eksploatacyjnych opisuje rozkład normalny.

Przyjęto, że dla robót udostępniających ( $u$ ), przygotowawczych ( $rp$ ) i eksploatacyjnych ( $e$ ) koszt wykonania czynności w przeliczeniu na przyjętą jednostkę czasu w danym wyrobisku jest funkcją o postaci:

$$Koszt = f(Pos) = B \cdot Pos + C \quad (18)$$

gdzie:

- $B_{(u,rp,e)}$  — współczynnik określający koszty danych robót zależne od postępu [zł/m],
- $C_{(u,rp,e)}$  — współczynnik określający koszty danych robót niezależne od postępu [zł/d].

Natomiast dla prac zbrojeniowych ( $zb$ ) i likwidacyjnych ( $lik$ ) koszt ich wykonania w danym wyrobisku wybierkowym (ścianie) w przeliczeniu na przyjętą jednostkę czasu jest funkcją o postaci:

$$Koszt = f(X) = I \cdot X + J \quad (19)$$

gdzie:

- $I_{(zb,lik)}$  — współczynnik określający koszty danych robót zależne od długości ściany [zł/m/d],
- $J_{(zb,lik)}$  — współczynnik określający koszty danych robót niezależne od długości ściany [zł/d],
- $X$  — długość ściany.

Wielkości wydobywania brutto ( $Wdeb$ ) i netto ( $Wden$ ) oraz jednostkową wartość (przewidywaną cenę) węgla ( $JWW$ ) oblicza się według wzorów podanych w algorytmie modelu matematycznego dla każdej czynności.

## 2.7. Cechy opisujące obiekty

Wielkość postępu i kosztów robót górniczych zależą od warunków górniczo-geologicznych i techniczno-organizacyjnych danego obiektu przestrzennego, stąd też w dalszej części artykułu zostaną opisane cechy charakteryzujące obiekty przestrzenne i techniczne. Zdefiniowane obiekty techniczne i przestrzenne są charakteryzowane przez odpowiednie zbiory cech. Cechy to parametry charakteryzujące warunki górniczo-geologiczne i techniczno-organizacyjne panujące w danym obiekcie podstawowym w zależności od jego typu, a także parametry maszyn i urządzeń tam pracujących. Cechy mogą być mierzalne (M) lub opisowe (O). Dla wyrobisk korytarzowych wyróżniono 52 cechy, natomiast dla wyrobisk wybierkowych 53 cechy (szczegółowo podane w pracy (Brzychczy 2005)).

Dane o obiektach przestrzennych i obiektach technicznych przechowywane są w bazach obiektów. Zgromadzone informacje umożliwiają analizę wyników produkcyjnych osią-

ganych w przeszłości w konkretnych warunkach górniczo-geologicznych i techniczno-organizacyjnych wraz z poniesionymi na ich uzyskanie nakładami finansowymi. Istnieje możliwość wykorzystania doświadczeń kopalni prowadzącej już wydobywanie przy danych uwarunkowaniach wewnętrznych do wnioskowania na przyszłość. Aby móc wykorzystać dane o obiektach i robotach górniczych prowadzonych w przeszłości do wnioskowania o przyszłych wynikach produkcyjnych osiąganych w nowopowstałych obiektach wykorzystano podobieństwo tych obiektów. Do porównania obiektów pod względem podobieństwa zespołu cech wykorzystano metody wielowymiarowej analizy porównawczej (WAP). Po przyjęciu odpowiednich charakterystyk do opisu łuków w sieci stochastycznej, oddających poszczególne roboty górnicze, można rozpocząć obliczenia według modelu matematycznego.

### Podsumowanie

W artykule zostały przedstawione podstawowe definicje i założenia opracowanej metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Metoda powstała jako narzędzie mogące wspomóc proces podejmowania decyzji w kopalni węgla kamiennego. Złożoność metody i rozbudowany aparat obliczeniowy wymaga przedstawienia wspomnianej metody w artykułach częściowych, stąd też w następnych publikacjach zostaną opisane dalsze podstawy teoretyczne metody, m.in. etap budowy sieci stochastycznej oddającej prowadzenie robót górniczych w kopalni węgla kamiennego i opracowany model matematyczny.

Artykuł opracowany w ramach pracy statutowej 11.11.100.856

### LITERATURA

- Brzychczy E., 2005 — Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Praca doktorska, Kraków.
- Jaworski K.M., 1999 — Metodologia projektowania realizacji budowy. PWN, Warszawa.
- Magda R., Woźny T., Kowalczyk B., Głodzik S., Gryglik D., 2002 — Racjonalizacja modelu i wielkości kopalni węgla kamiennego w warunkach gospodarczych początku XXI wieku. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
- Organizacja i planowanie budowy. Red. W. Lenkiewicz. PWN, Warszawa 1985.
- Trocki M., Grucza B., Ogonek K., 2003 — Zarządzanie projektami. PWE, Warszawa.

EDYTA BRZYCHCZY

**MODELLING AND OPTIMISATION METHOD OF MINING WORKS IN HARD COAL MINE WITH AN APPLICATION  
OF STOCHASTIC NETWORKS. PART 1. BASIC DEFINITIONS AND ASSUMPTIONS**

**Key words**

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

**Abstract**

The article presents basic definitions and assumptions of modelling and optimisation 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.