

EDYTA BRZYCHCZY*

O możliwościach wykorzystania techniki VERT w modelowaniu robót górniczych

Słowa kluczowe

Technika VERT, modelowanie, roboty górnicze

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane aspekty zastosowania techniki VERT do modelowania robót górniczych. Zaprezentowano również pewne elementy VERT w opracowanej metodzie modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych.

Wprowadzenie

Górnictwo węgla kamiennego jest jedną z najważniejszych gałęzi przemysłu polskiej gospodarki, która poddawana jest aktywnej restrukturyzacji od kilkunastu lat. Prowadzenie tak istotnej działalności zarówno w ramach pojedynczych kopalń, jak i całych przedsiębiorstw węglowych powinno być wspomagane najnowocześniejszymi metodami zarządzania. W tym celu można wdrażać pewne rozwiązania, np. metody zarządzania projektami, o czym wspomina się m.in. w pracy (Dźwigoł 2002).

Prowadzenie eksploatacji górniczej jest procesem specyficznym przede wszystkim ze względu na jego uwarunkowania wewnętrzne, których charakterystyka i wiążące się z nimi rodzaje niepewności i ryzyka powinny zostać uwzględnione w metodach służących modelowaniu robót górniczych.

* Dr inż., Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

Recenzował dr hab. inż. Ryszard Snopkowski, prof. AGH

Obecnie najbardziej popularnymi i stosunkowo łatwymi metodami do zastosowania w analizie prowadzonych przedsięwzięć są metody sieciowe. Niektóre z nich umożliwiają odwzorowanie prowadzonych zadań/robót z uwzględnieniem ich probabilistycznej struktury oraz niezdeterminowanej sekwencji. Do takich metod należą metoda sieciowa GERT oraz jej wersja symulacyjna GERTS, które znalazły zastosowanie w modelowaniu robót górniczych prowadzonych w polach eksploatacyjnych kopalni węgla kamiennego, co opisano m.in. w (Magda 2003, Brzywczy 2006).

W niniejszej pracy wskazano na możliwości aplikacji metody VERT do zagadnień planowania robót górniczych, poszerzającej zakres analizy planowanych robót w stosunku do wspomnianych wcześniej metod o dodatkowe elementy związane z analizą ryzyka.

1. Technika VERT

Technika VERT (*Venture Evaluation nad Review Technique*) jest, podobnie jak technika GERT, techniką sieciową (Kidd 1987, 1989). Wykorzystanie technik sieciowych do analizy przedsięwzięć zostało spopularyzowane po opracowaniu metody CPM (metody ścieżki krytycznej) i techniki PERT we wczesnych latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Metody te miały jednak ograniczoną możliwość analizy ryzyka badanego projektu wynikającą głównie z zdeterminowanej struktury sieci oraz sposobu określania atrybutów czynności. W wyniku ulepszeń wspomnianych technik (CPM/PERT) powstała nowa generacja sieci – GAN, które umożliwiały zarówno uwzględnienie probabilistycznej struktury czynności (poprzez wyrażenie atrybutów czynności jako zmiennych losowych), jak i zmiennych sekwencji czynności (poprzez wprowadzenie probabilistycznych wierzchołków sieci). Technika GERT, a w szczególności jej wersja symulacyjna GERTS, powstała w celu wspomnienia rozwiązywania złożonych sieci typu GAN z wykorzystaniem metod symulacyjnych np. Monte Carlo. W technice GERT łuk sieci opisany jest jako (Trocki 2003):

$$W [p_i, t_i]$$

gdzie:

- p_i — prawdopodobieństwo realizacji łuku i , pod warunkiem, że wierzchołek, z którego on wychodzi zostanie zrealizowany,
- t_i — czas potrzebny do realizacji czynności opisanej przez łuk i jest zmienną losową o danej gęstości prawdopodobieństwa $f_i(t)$.

Praktyczne zastosowanie dla wyrażenia funkcji gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej znajduje dziewięć rozkładów (Bocian 1979): jednopunktowy, normalny, prostokątny, Erlanga, logarytmiczno-normalny, Poissona, Beta, Gamma (w tym wykładniczy), Beta (sprowadzony do trzech parametrów, jak w metodzie PERT).

W literaturze spotyka się stwierdzenie, że atrybutem łuku sieci typu GAN może być również np. koszt, niezawodność itp. (Mercik 1976), i właśnie to stwierdzenie może stanowić wprowadzenie do teorii techniki VERT.

W technice VERT zakłada się bowiem najczęściej, że łuk sieci może zostać opisany jako (Lee i in. 1982):

$$W [p_i, t_i, k_i, w_i]$$

gdzie:

- k_i — koszt realizacji czynności,
- w_i — wskaźniki oceny działania, wydajności (w zależności jakiej fazy projektu dotyczą).

Można wyróżnić pewne charakterystyczne cechy techniki VERT w porównaniu do metod GERT/GERTS (opis i charakterystyka zawarta w niniejszym artykule dotyczy VERT-3, czyli trzeciej generacji przedstawianej techniki):

- VERT jest techniką w pełni skomputeryzowaną, wykluczającą metodę redukcji sieci,
- wierzchołki sieci bez względu na charakter (zdeterminowany czy probabilistyczny) oznaczane są jako prostokąty (w metodach GERT/GERTS koła lub charakterystyczne krople),
- VERT umożliwia konstrukcję bardziej elastycznej sieci z wykorzystaniem większego (w porównaniu z metodą GERT/GERTS) zbioru wierzchołków wejścia i wyjścia oraz powiązanych z nimi operacji logicznych,
- VERT umożliwia symulacyjną analizę badanego projektu, przy wykorzystaniu 13 rozkładów gęstości prawdopodobieństwa dla atrybutów będących zmiennymi losowymi (w metodzie GERTS zastosowanie znajduje 9 rozkładów),
- w VERT wprowadzono dodatkowe jednostki logiczne, umożliwiające analizę wybranych czynności (w metodach GERT/GERTS brak takowych).

1.1. Wierzchołki sieci

Węzły sieci VERT podzielono na trzy typy:

1. Wierzchołki wejścia.
2. Wierzchołki wyjścia.
3. Jednostki logiczne.

Do wierzchołków wejścia należą (Lee i in. 1982):

- INITIAL (początkowy) – wykorzystywany do rozpoczęcia sieci, może być kilka wierzchołków początkowych,
- AND (i) – wymaga zakończenia wszystkich czynności wchodzących do niego przed rozpoczęciem czynności wychodzących z danego wierzchołka,

- PARTIAL AND (częściowe i) – wymaga realizacji przynajmniej jednej czynności wchodzącej do wierzchołka, chociaż czeka na realizację pozostałych wchodzących do wierzchołka, by rozpocząć czynności wychodzące z niego,
- OR (lub) – wymaga realizacji przynajmniej jednej czynności wchodzącej do wierzchołka, aby rozpocząć czynności następne bez oczekiwania na realizację pozostałych wchodzących do wierzchołka.

Wyróżniono następujące wierzchołki wyjścia, które dowolnie mogą być zestawiane z wierzchołkami wejścia (Lee i in. 1982):

- TERMINAL (końcowy) – wykorzystywany do zakończenia sieci,
- ALL (wszystkie) – pozwala na rozpoczęcie wszystkich/jakichkolwiek czynności wychodzących z wierzchołka,
- MONTE CARLO – pozwala na rozpoczęcie tylko jednej czynności wychodzącej z wierzchołka, wybór czynności zależy od przypisanego do niej prawdopodobieństwa realizacji, suma prawdopodobieństw określonych na wyjściu z wierzchołka musi być równa 1,
- FILTER 1, 2 lub 3 – pozwala na rozpoczęcie czynności spełniających określone warunki co do charakterystyk czynności (czasu, kosztu lub innych wskaźników, czynności poprzednich) wyznaczanych według odpowiednich zasad.

W modelu sieciowym VERT wprowadzono również jednostki logiczne, które mogą zostać przypisane do wierzchołka (Lee i in. 1982):

- COMPARE (porównanie) – pozwala na rozpoczęcie czynności mających pożądane wartości skumulowanego czasu, kosztu lub innych wskaźników,
- PREFERRED (preferencje) – pozwala na rozpoczęcie czynności w porządku przyjętych celów,
- QUEUE (kolejka) – ustawia czynności w kolejce pomiędzy realizowaną czynnością a wierzchołkiem wejścia,
- SORT (sortowanie) – umożliwia rozpoczynanie czynności według przyjętych wag (czasu, kosztów, innych parametrów).

Tak duży wybór elementów i relacji logicznych z nimi związanych umożliwia bardzo elastyczne modelowanie analizowanych procesów lub projektów.

1.2. Rozkłady zmiennych losowych i inne zależności dla atrybutów czynności

W metodzie VERT proponuje się wykorzystanie następujących rozkładów zmiennych losowych: równomierny, trójkątny, normalny, lognormalny, gamma, Weibulla, wykładniczy Erlanga, Chi-kwadrat, Beta, Poissona, geometryczny, dwumianowy, hipergeometryczny.

Każdą czynność mogą również charakteryzować zależności matematyczne pomiędzy jej atrybutami (czasem, kosztem, innymi współczynnikami) zapisanymi w odpowiedniej formie funkcyjnej.

1.3. Wyniki obliczeń techniką VERT

Po przedstawieniu analizowanego zagadnienia na modelu sieciowym o pożądanym poziomie odwzorowania można rozpocząć symulację. Symulacja polega na stworzeniu przepływu sieciowego od wierzchołka początkowego do końcowego stanowiącego jedną próbę rozwiązania sformułowanego problemu. Czynność ta jest powtarzana określoną przez projektanta liczbę razy, tak aby stworzyć odpowiednio dużą próbkę możliwych rozwiązań. Czas trwania, koszt oraz inne wskaźniki dla poszczególnych wierzchołków sieci określane są przez następujące parametry:

- rozkład częstości względnych,
- funkcja rozkładu prawdopodobieństwa,
- średnia z obserwacji,
- odchylenie standardowe próbki,
- wariancja,
- moda,
- mediana,
- kurtoza,
- skośność.

Stąd też możliwa jest wnikliwa analiza proponowanych rozwiązań alternatywnych przedsięwzięcia zarówno w zakresie jego poszczególnych części, jak i całości. Dodatkowo projektant otrzymuje wykres indeksów dla optymalnych wierzchołków końcowych, co wspomaga analizę ryzyka planowanego przedsięwzięcia.

W efekcie obliczeń z wykorzystaniem techniki VERT możliwe jest również wskazanie ścieżki krytycznej i optymalnej dla rozpatrywanego przedsięwzięcia, z uwzględnieniem preferencji projektanta dotyczących kryterium tej analizy, tj. czas, koszt, inne wskaźniki wraz ze wskazaniem korelacji między nimi. Wskazanie związków pomiędzy wymienionymi elementami umożliwia podejmowanie decyzji quasi-optymalnych, ale mieszczących się w zakresie dopuszczalnym przez budżet przedsięwzięcia i pożądanym przez decydenta (np. możliwe przesunięcia kosztów pomiędzy czynnościami należącymi do ścieżki krytycznej i optymalnej).

2. Wybrane aspekty wykorzystania metody VERT w planowaniu robót górniczych

Dotychczasowe doświadczenia Autorki z sieciami stochastycznymi, które wykorzystywała do modelowania robót górniczych, wskazują na duże możliwości ich zastosowania do wspomaganego planowania tych robót i analizy ryzyka z nimi związanego w odniesieniu do osiągniętych wyników ekonomiczno-produkcyjnych.

W autorskiej metodzie modelowania i optymalizacji robót górniczych (Brzyhyczy 2006), została między innymi wykorzystana metoda GERT, którą autorka we własnym zakresie rozszerzyła o pewne teoretyczne elementy techniki VERT, nie mając dostępu do wersji programu obliczeniowego, o którym wspomina niniejszy artykuł.

Łuk sieci w opracowanej metodzie w stosunku do metody GERT został poszerzony i opisany jako:

$$W [p_i, t_i, Koszt_i, Wdeb_i, Wden_i, JWW_i]$$

gdzie:

- Koszt* — koszt wykonania robót [zł/d],
- Wdeb* — wielkość wydobywania brutto dla robót związanych z drażeniem wyrobisk korytarzowych lub eksploatacją ścian [t/d],
- Wden* — wielkość wydobywania netto dla robót związanych z drażeniem wyrobisk korytarzowych lub eksploatacją ścian [t/d],
- JWW* — wartość jednostkowa (przewidywana cena) węgla pochodzącego z wydobywania w danym wyrobisku [zł/t],

Pomiędzy wymienionymi elementami wyprowadzono zależności matematyczne, które umożliwiły wyznaczenie dla badanego okresu: kosztu jednostkowego prowadzonych robót, jednostkowej wartości (przewidywanej ceny) węgla pochodzącego z prowadzonych robót górniczych oraz akumulacji jednostkowej. Czas trwania planowanych robót górniczych został wykorzystany pomocniczo do wyznaczania analizowanych charakterystyk i nie był przedmiotem optymalizacji.

W wyniku obliczeń otrzymano rozkłady prawdopodobieństwa wspomnianych charakterystyk, które były wejściowymi dla procedury optymalizacji (Brzywczy 2007).

Określono dwa alternatywne kryteria optymalizacji przy uwzględnieniu warunków ograniczających:

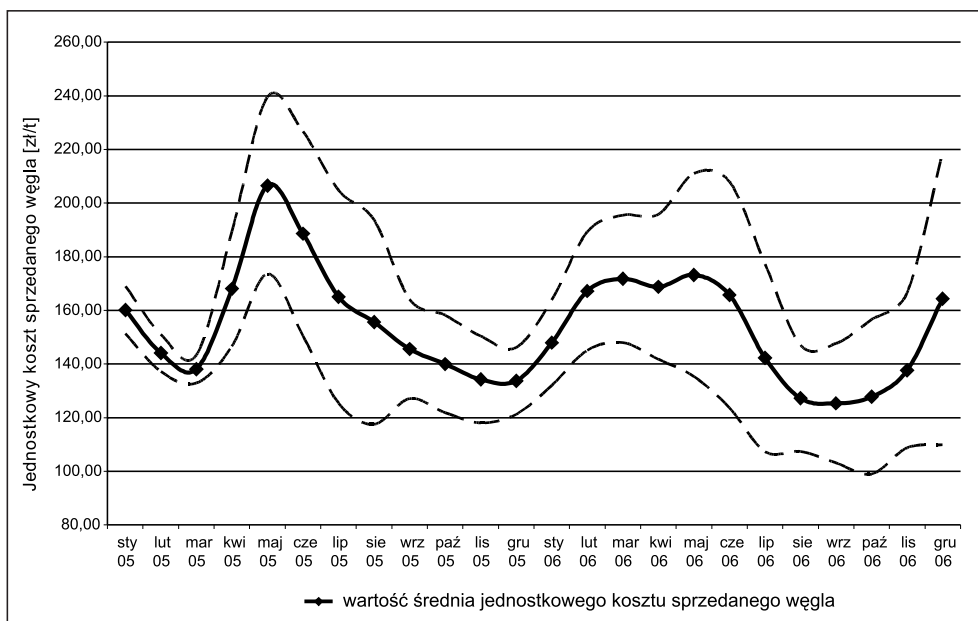
- minimalizacja wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie,
- maksymalizacja wartości oczekiwanej wyniku jednostkowego na sprzedaży w badanym okresie,

przy uwzględnieniu:

- minimalizacji odchyłań standardowych badanych charakterystyk.

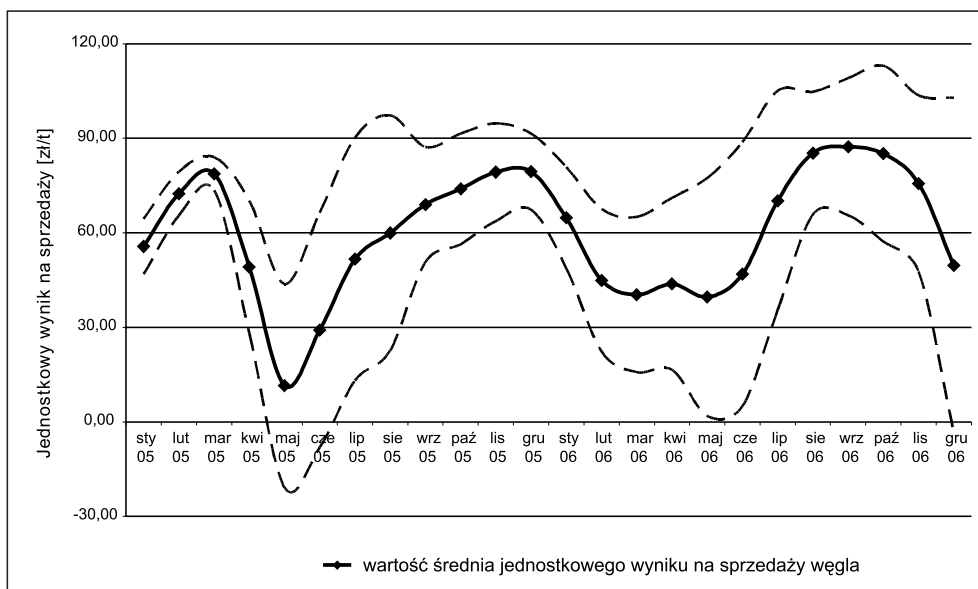
Po przeprowadzeniu wstępnych etapów procedury optymalizacyjnej, które dotyczyły między innymi wyboru rozwiązań spełniających założenia techniczno-ekonomiczne w zakresie wielkości wydobywania oraz dostosowania jego poziomu do planowanego w kolejnych okresach, utworzono zbiory rozwiązań dopuszczalnych ze względu na poziom wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie, a także dopuszczalnych ze względu na poziom wartości oczekiwanej wyniku jednostkowego na sprzedaży w badanym okresie i wybrano rozwiązanie najlepsze. Jego charakterystykę przedstawiono na rysunkach 1–2.

W dalszych badaniach Autorka ma zamiar poszerzyć opracowaną metodę o brakujące opcje i jednostki logiczne techniki VERT w celu stworzenia narzędzia, które w kompleksowy sposób będzie służyć projektantowi do analizy planowanych robót górniczych,



Rys. 1. Kształtowanie się jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w wybranym wariantcie

Fig. 1. Unit cost of sold coal in preferred variant



Rys. 2. Kształtowanie się jednostkowego wyniku na sprzedaży w wybranym wariantcie

Fig. 2. Unit profit on sales level in preferred variant

szczególnie w zakresie analizy ryzyka związanego z ich prowadzeniem. Ryzyko to, pochodzące z różnych źródeł, ma wpływ zarówno na wyniki techniczno-ekonomiczne pojedynczej kopalni, jak i na wyniki przedsiębiorstwa wielozakładowego w skład którego wchodzi.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono pokrótce technikę VERT i wybrane aspekty jej zastosowania do wspomżenia planowania robót górniczych. Dotychczasowe, zakończone sukcesem, wprowadzenie metod sieciowych bazujących na sieciach stochastycznych do procesu modelowania robót górniczych wskazuje na dalszą potrzebę rozbudowy opracowanej metodyki o zaawansowaną analizę ryzyka związanego z prowadzonymi robotami górniczymi w odniesieniu do osiąganych wyników ekonomiczno-produkcyjnych, co w pewnym zakresie umożliwia technika VERT. Stąd też dalsze kierunki badań Autorki dotyczyć będą wprowadzenia pewnych elementów omawianej techniki do metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych.

Artykuł opracowany w ramach pracy statutowej 11.11.100.190

LITERATURA

- Bocian L., Juchnikowski G., 1979 – Metoda sieciowa GERT. Informatyka nr 11.
- Brzychczy E., 2006 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia. Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 22, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzychczy E., 2007 – Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 4. Procedura optymalizacji. Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Dźwiągół H., 2002 – Praktyczny aspekt zarządzania przez projekty na przykładzie kopalń węgla kamiennego. Materiały konferencyjne: Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Bukowina Tatrzańska.
- Kidd J.B., 1987 – A comparison between the VERT program and other methods of project duration estimation. International Journal of Management Science vol. 15, 2
- Kidd J.B., 1989 – Project analysis today – the end users' disquiet. International Journal of Management Science vol. 17, 2
- Lee S.M., Meller G.L., Digman L.A., 1982 – Network analysis for management decisions. A stochastic approach. Kluwer, Boston.
- Magda R., 2003 – Koncepcja wykorzystania sieci stochastycznych do projektowania i optymalizacji robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. Materiały konferencyjne: Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Bukowina Tatrzańska.
- Mercik J.W., 1976 – Modelowanie sieciowe za pomocą sieci typu GAN. Prace Naukowe Instytutu Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej nr 12, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Trocki M., Grucza B., Ogonek K., 2003 – Zarządzanie projektami. PWE, Warszawa.

EDYTA BRZYCHCZY

AN APPLICATION OF VERT TECHNIQUE IN MINING WORKS MODELLING

Key words

VET technique, modelling, mining works

Abstract

In the paper application of VERT technique in mining works modelling is proposed. There are also presented some elements of mentioned technique in the modelling and optimisation method of mining works in hard coal mine with an application of stochastic networks.