

Marek SOWA

## PRZYKŁAD OPTIMALIZACJI WYKONANIA ROBÓT PRZYGOTOWAWCZYCH W POLU EKSPLOATACYJNYM PRZY ZASTOSOWANIU METOD SIECIOWYCH

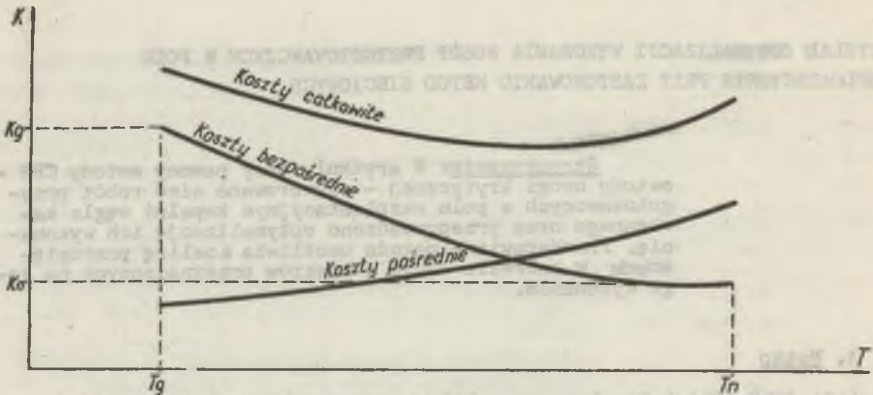
**Streszczenie:** W artykule przy pomocy metody CPM - metody drogi krytycznej - odwzorowano sieć robót przygotowawczych w polu eksploatacyjnym kopalni węgla kamiennego oraz przeprowadzono optymalizację ich wykonania. Przedstawiona metoda umożliwi analizę przedsięwzięcia w zakresie czasu i kosztów przeznaczonych na jego wykonanie.

### 1. Wstęp

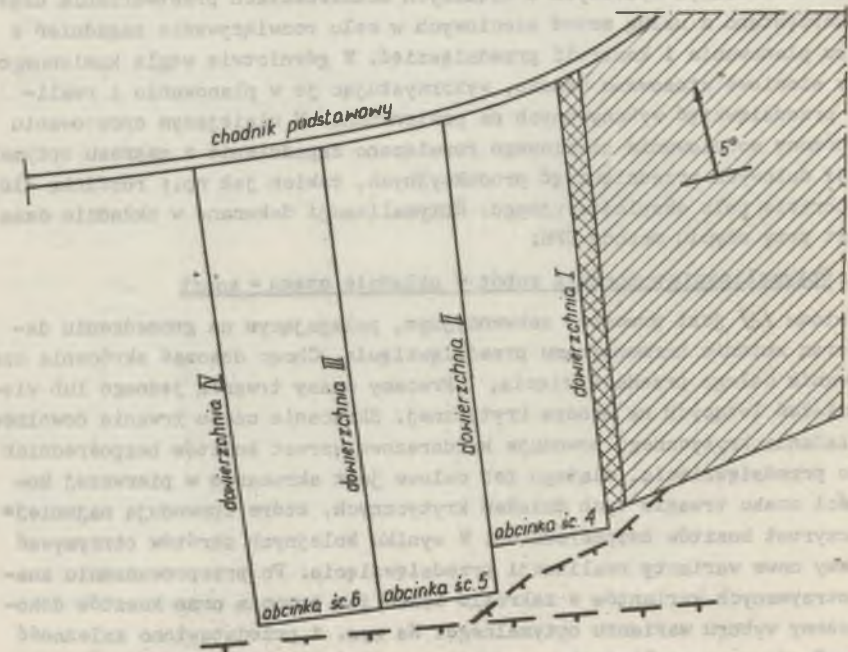
Lata 1960-1964 były okresem szybkiego rozwoju metod sieciowych. Ze względu na dotkliwy brak maszyn cyfrowych o dużych możliwościach przetwarzania danych nie przybierały one trendów rozwojowych. Dopiero z chwilą wprowadzenia maszyn cyfrowych o większych możliwościach przetwarzania części korzystano z usług metod sieciowych w celu rozwiązywania zagadnień z zakresu planowania i kontroli przedsięwzięć. W górnictwie węgla kamiennego metody sieciowe stosowano rzadko, wykorzystując je w planowaniu i realizacji przedsięwzięć wykonywanych na powierzchni. W niniejszym opracowaniu przy pomocy modelowania sieciowego rozwiązano zagadnienie z zakresu optymalizacji dołowych przedsięwzięć produkcyjnych, takich jak np.: rozcinka złoża w obrębie pola eksploatacyjnego. Optymalizacji dokonano w układzie czas - koszt przy użyciu metody CPM.

### 2. Optymalizacja wykonania robót w układzie czasu - koszt

Metoda [2] jest procesem sekwencyjnym, polegającym na gromadzeniu danych oraz zmianie harmonogramu przedsięwzięcia. Chcąc dokonać skrócenia czasu trwania całego przedsięwzięcia, skracamy czasy trwania jednego lub więcej działań leżących na drodze krytycznej. Skracanie czasu trwania dowolnego działania krytycznego powoduje każdorazowo wzrost kosztów bezpośrednich całego przedsięwzięcia, dlatego też celowe jest skracanie w pierwszej kolejności czasu trwania tych działań krytycznych, które spowodują najmniej przyrost kosztów bezpośrednich. W wyniku kolejnych skrótów otrzymywać będziemy nowe warianty realizacji przedsięwzięcia. Po przeprowadzeniu analizy otrzymanych wariantów w zakresie czasu ich trwania oraz kosztów dokonać możemy wyboru wariantu optymalnego. Na rys. 1 przedstawiono zależność kosztu  $K$  od czasu realizacji przedsięwzięcia. Dla przykładu weźmiemy pod uwagę rozcinkę typowego pola eksploatacyjnego /rys. 2/ ze ścianami poprzecznymi o długości 170 m i wybiegu około 800 m, które następnie odwzorowano za pomocą metody CPM /rys. 3/. Przykładowa sieć powiązań /rys. 3/ będąca modelem pola eksploatacyjnego, składa się z ośmiu działań. Każdemu działaniu



Rys.1. Zależność kosztów K od czasu realizacji przedsięwzięcia



Rys.2 Schemat rozcinki pola eksploatacyjnego

niu przyporządkowano dwa czasy jego trwania; graniczny i normalny. Czas [1] graniczny  $T_g$  jest najkrótszym możliwym czasem trwania działania w danych warunkach, a związany z nim koszt  $K_g$  jest granicznym kosztem bezpośrednim. Czas  $T_n$  jest normalnym czasem trwania działania, a związany z nim koszt  $K_n$  jest minimalnym kosztem bezpośrednim. Wartości czasów podane zostały w dniach, natomiast wartości kosztów w tysiącach. Wartości czasów normalnych  $T_n$ , granicznych  $T_g$  oraz kosztów  $K_n$  i  $K_g$  dla poszczególnych działań zostały wyznaczone na podstawie danych z kopalni PW. Nad symbolami oznaczającymi zdarczenia podane zostały najwcześniejsze i najpóźniejsze terminy obliczone według czasów normalnych.

Specyfikację działań wraz z czasami i kosztami im odpowiadającymi oraz z zapasami swobodnymi przedstawia tablica 1.

Tablica 1

## Specyfikacja działań

Nr działania i-j	Nazwa działania	Czas		Koszt		Zapas swobodny $Z_s$
		normalny $T_n$	graniczny $T_g$	normalny $K_n$	graniczny $K_g$	
1-2	Wykon. odcinka śc. 4	13	11	900	1100	0
2-3	Wykon. I-go odcinka dowiezchni II	43	42	3500	3600	0
2-4	Wykon. II-go odcinka dowiezchni II	19	17	710	805	0
3-5	Wykon. odcinka śc. 5	13	11	900	1100	36
4-5	Wykon. dowiezchni III	73	70	2700	2800	0
4-7	Wykon. I-go odcinka dowiezchni IV	7	7	350	350	115
5-6	Wykon. odcinka śc. 6	13	11	900	1100	0
6-7	Wykon. II-go odcinka dowiezchni IV	37	35	2400	2520	0
		$T_{n_p} = 155$	$T_{g_p} = 144$	$\sum K_n = 12360$	$\sum K_g = 13375$	

W celu dokonania optymalizacji układu czas wykonania rozcinki pola - całkowity koszt robót wykorzystano metodologię przedstawioną w pracy [1]. Za-

gadnienie powyższe sprawdzić można do uzyskania odpowiedzi na pytanie, jakie dodatkowe koszty w stosunku do początkowo przewidywanych należy ponieść aby skrócić termin końcowy wykonania całości robót. Przyspieszenie terminu zakończenia całości robót uzyskamy, skracając czasy trwania działań krytycznych, pamiętając, aby w pierwszej kolejności skracać te działania, których współczynnik wzrostu kosztów przypadających na jednostkę czasu jest jak najmniejszy. Dla dowolnego działania  $i-j$  współczynnik wzrostu kosztów obliczamy według wzoru:

$$a_{i-j} = \frac{K_{\varepsilon_{i-j}} - K_{n_{i-j}}}{T_{n_{i-j}} - T_{\varepsilon_{i-j}}} \quad (1)$$

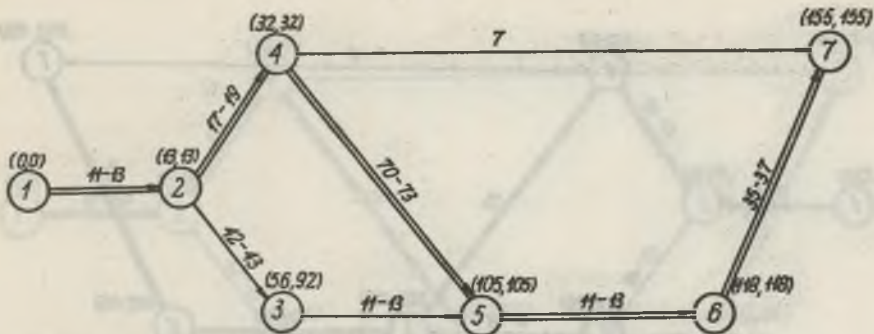
gdzie:

- $K_{\varepsilon_{i-j}}$  - koszt graniczny działania  $i-j$
- $K_{n_{i-j}}$  - koszt normalny działania  $i-j$
- $T_{n_{i-j}}$  - czas normalny działania  $i-j$
- $T_{\varepsilon_{i-j}}$  - czas graniczny działania  $i-j$

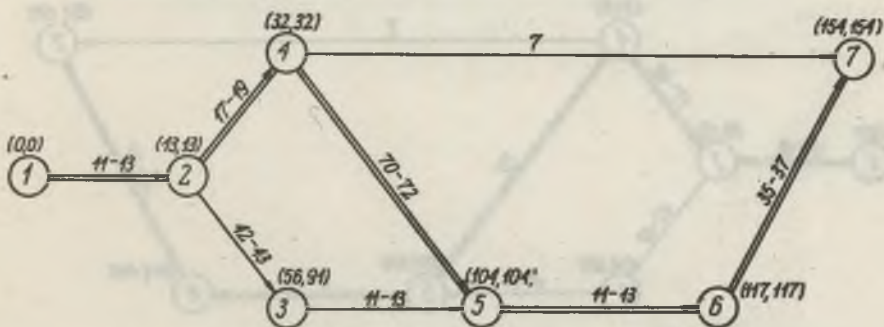
Spośród działań krytycznych 1-2, 2-4, 4-5, 5-6, 6-7 najmniejszy współczynnik wzrostu kosztów posiada działanie 4-5, dla którego  $a_{4-5} = 33,3$  /tabl.2/. Czas trwania działania 4-5 możemy sumarycznie skrócić o 3 dni, uzyskując tym samym czas graniczny dla danego działania  $T_{\varepsilon_{4-5}} = 70$  dni, wykorzystując całkowicie możliwość jego skrótu. Kolejne etapy skracania czasu trwania działania 4-5 oraz wpływ skrótu na wielkość kosztów bezpośrednich i czas końcowy realizacji przedsięwzięcia  $T_k$  przedstawiają rys.4, 5,6 i tabl.2.

W następnej kolejności przystępujemy do skracania czasu trwania działania 2-4 aż do momentu uzyskania czasu granicznego  $T_{\varepsilon_{2-4}} = 17$  /rys.7,8 tabl.2/

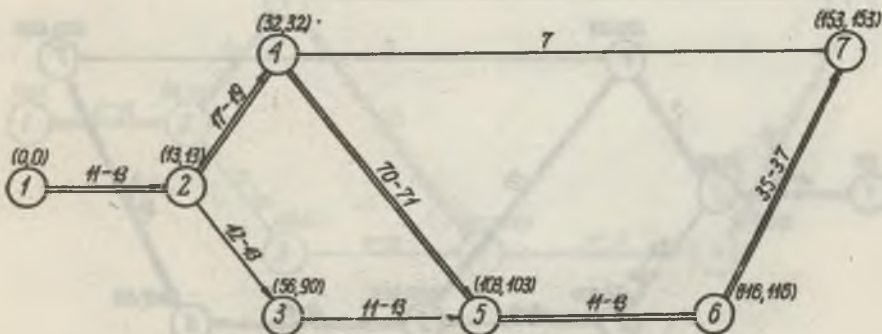
W skrócie VI do XI skracamy kolejno działania 6-7, 5-6, 1-2 /rys,9, 10, 11, 12, 13, 14, tabl.2/ aż do momentu osiągnięcia czasów granicznych dla danych działań. Podczas skracania działań należy zwracać uwagę na wielkość zapasów swobodnych, aby w dalszej analizie działania, dla których zapasy swobodne zostały przekroczone, rozpatrywać jako działania krytyczne. Skracanie czasu trwania całego przedsięwzięcia możemy uważać za zakończone w momencie, gdy czas końcowy przedsięwzięcia  $T_k$  w kolejnym skrócie będzie równy czasowi granicznemu przedsięwzięcia  $T_{\varepsilon_P} = 144$  dni. Po zsumowaniu składowych kosztów całkowitych i przeanalizowaniu otrzymanych wariantów - skrótów dokonujemy wyboru wariantu optymalnego /tabl.3/. Dla zaprezentowanego przykładu wariantem optymalnym realizacji przedsięwzięcia w układzie czas - koszt jest wariant otrzymany w wyniku skrótu VII-go, w



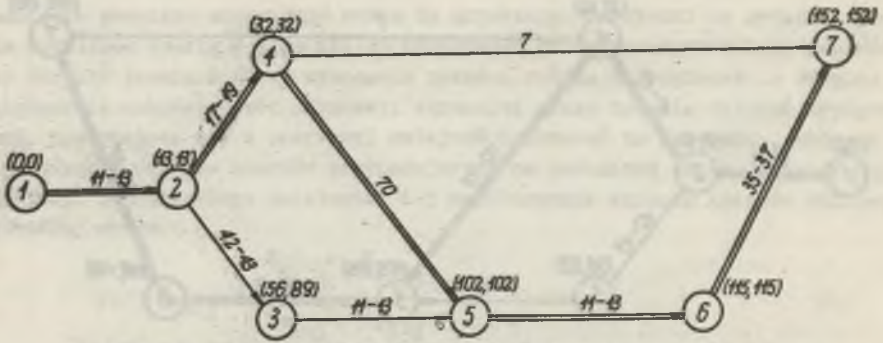
rys. 3 Odzworowanie robót przygotowawczych w polu eksploatacyjnym za pomocą metody CPM /sieć podstawowa/



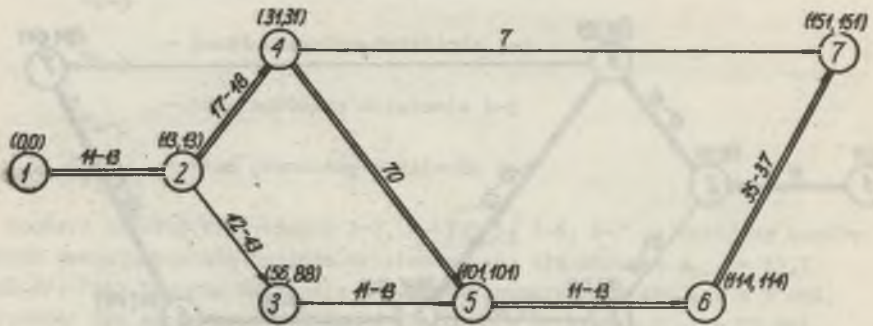
rys.4. Sieć po skrócie działania 4-5 o jeden dzień



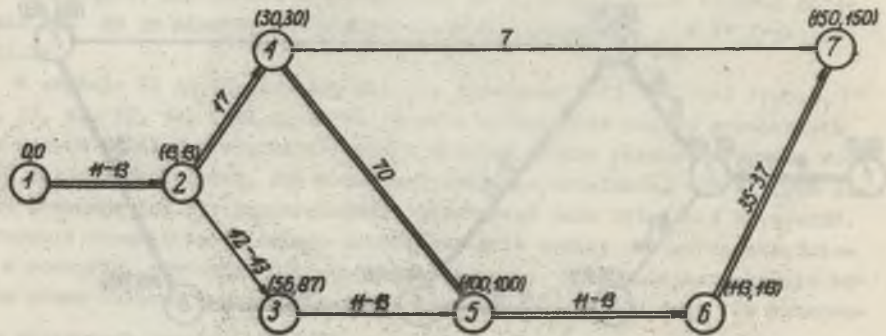
rys.5: Sieć po skrócie działania 4-5 o dwa dni



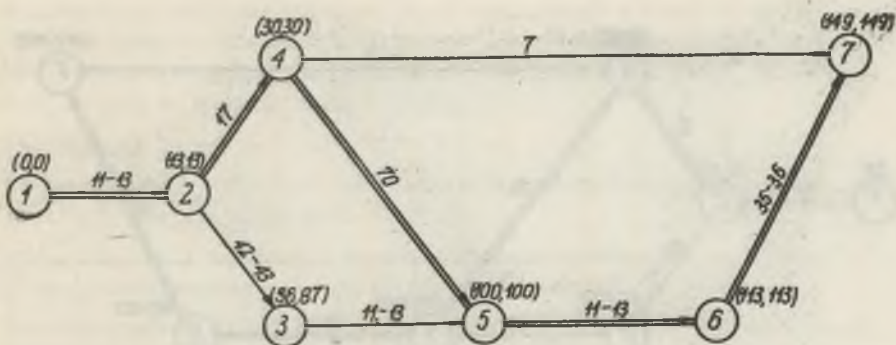
rys.6. Sieć po skrócie działania 4-5 o trzy dni



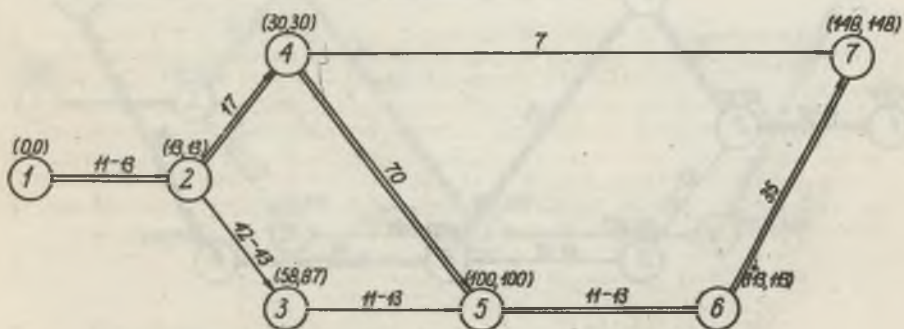
rys.7: Sieć po skrócie działania 2-4 o jeden dzień



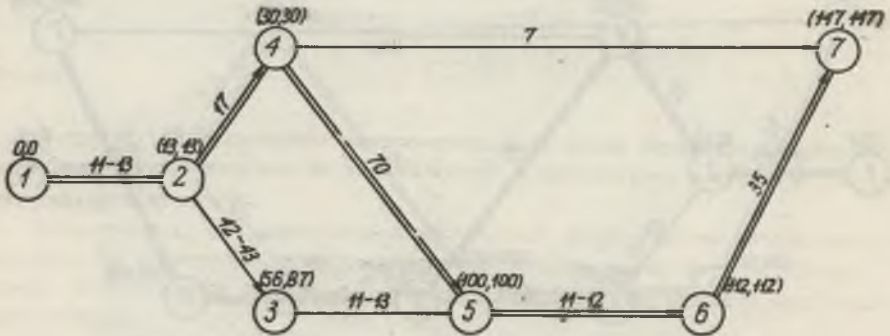
rys.8: Sieć po skrócie działania 2-4 o dwa dni



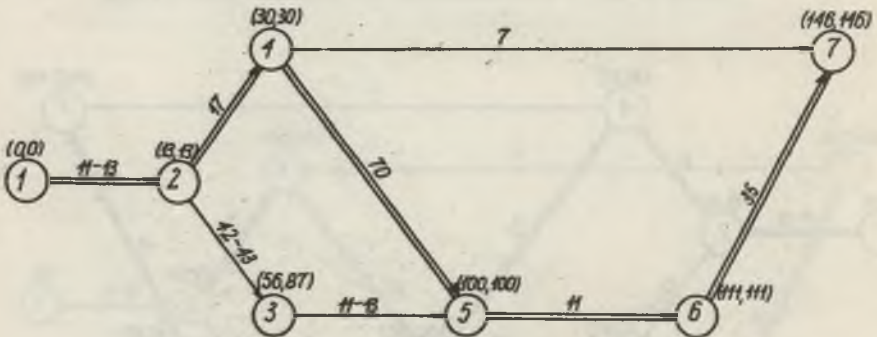
rys.9. Sieć po skrócie działania 6-7 o jeden dzień



rys.10. Sieć po skrócie działania 6-7 o dwa dni

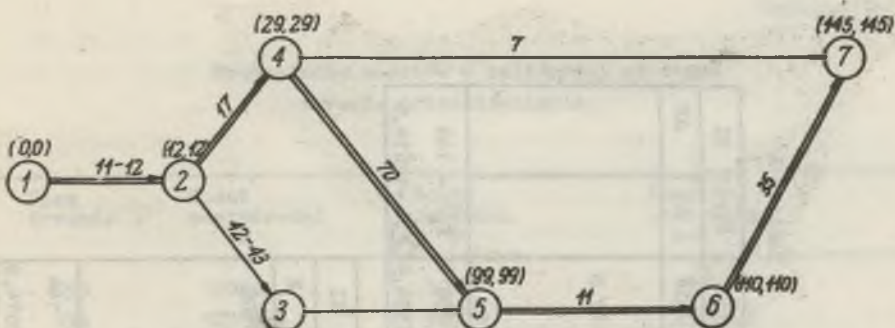


rys.11: Sieć po skrócie działania 5-6 o jeden dzień

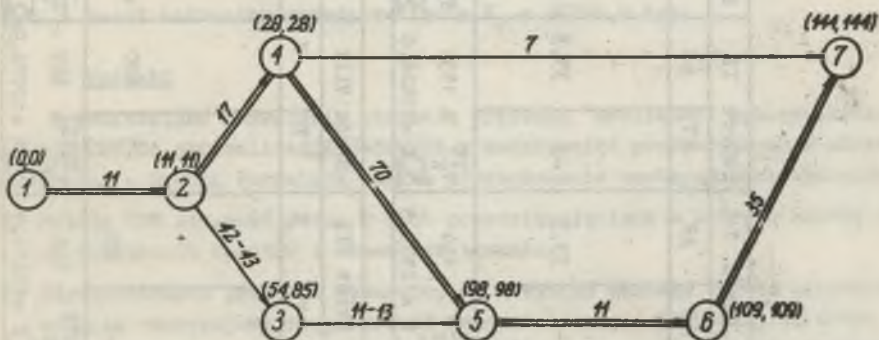


rys.12: Sieć po skrócie działania 5-6 o dwa dni





rys. 13. Sieć po skrócie działania 1-2 o jeden dzień



rys. 14. Sieć po skrócie działania 1-2 o dwa dni

Tablica 2

Nr działania i-j	a <sub>1-j</sub>	Skrót I		Skrót II		Skrót III		Skrót IV		Skrót V		Skrót VI	
		ΔT	ΔK	ΔT	ΔK	ΔT	ΔK	ΔT	ΔK	ΔT	ΔK	ΔT	ΔK
1-2	100												
2-3	50												
2-4	47,5												
3-5	100	-1	33,3	-1	33,3	-1	33,3	-1	47,5	-1	47,5		
4-5	33,3												
4-7	-												
5-6	100												
6-7	60												
		$T_K^I = 154$	$\sum K = 12393,3$	$T_K^{II} = 153$	$\sum K = 12426,6$	$T_K^{III} = 152$	$\sum K = 12459,9$	$T_K^{IV} = 151$	$\sum K = 12507,4$	$T_K^V = 150$	$\sum K = 12554,9$	$T_K^{VI} = 149$	$\sum K = 12614,9$
Nr działania i-j	a <sub>1-j</sub>	Skrót VII		Skrót VIII		Skrót IX		Skrót X		Skrót XI			
		T	K	T	K	T	K	T	K	T	K		
1-2	100												
2-3	50												
2-4	47,5												
3-5	100												
4-5	33,3												
4-7	-												
5-6	100	-1	60	-1	100	-1	100	-1	100	-1	100		
6-7	60												
		$T_K^{VII} = 148$	$\sum K = 12674,9$	$T_K^{VIII} = 147$	$\sum K = 12774,9$	$T_K^{IX} = 146$	$\sum K = 12874,9$	$T_K^X = 145$	$\sum K = 12974,9$	$T_K^{XI} = 144$	$\sum K = 13074,9$		

Tablica 3

Zestawienie kosztów w zależności od czasu  
trwania przedsięwzięcia

Czas trwania	Koszt bezpośredni A	Koszt pośredni B	Koszt całkowity A+B
155	12360	12700	25060
154	12393,3	12620	25013,3
153	12426,6	12500	24926,6
152	12456,9	12430	24889,9
151	12507,4	12370	24877,4
150	12554,9	12300	24854,9
149	12614,9	12235	24849,9
<u>148</u>	<u>12674,9</u>	<u>12170</u>	<u>24844,9</u>
147	12774,9	12150	24924,9
146	12874,9	12130	25004,9
145	12974,9	12100	25074,9
144	13074,9	12050	25124,9

w którym  $T_k^{VII} = 148$  dni, koszt bezpośredni przedsięwzięcia  $\sum K = 12674,9$  tys., a koszt całkowity przedsięwzięcia  $K_c = 24844,9$  tys.

## 3. Wnioski

Przedstawione rozważania stanowią przykład możliwości wykorzystania metody CPM do optymalizacji dołowych przedsięwzięć produkcyjnych w układzie czas - koszt. Pozwalają one na sformułowanie następujących wniosków.

- 1/ Metodę CPM stosować można w tych przedsięwzięciach w których zależy nam na powiązaniu kosztów i czasu ich trwania.
- 2/ Zaprezentowany przykład wykazuje, że w wyniku każdego skrótu przedsięwzięcia otrzymujemy nowy wariant jego realizacji. Otrzymany tą drogą zestaw wariantów realizacji przedsięwzięcia, pozwala na wybór wariantu optymalnego ze względu na założone kryteria:

## LITERATURA

- [1] Bromek T., Czyłok A., Madejski A., Rakoczy-Lorens M.: Analiza siatek czynności za pomocą programów OSC-1, 2 i 3 dla optymalizacji przedsięwzięć. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1966
- [2] Idzikiewicz A.Z.: PERT. Metody analizy sieciowej. Wyd. PWN. Warszawa 1967r.
- [3] Winnicki P.: Analiza czasu i środków w przedsięwzięciach inwestycyjnych i remontowych hutnictwa. Informatyka 1974, nr 4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
В ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ПОЛЕ ПРИМЕНЯ СЕТЕВОЙ МЕТОД

## Резюме

В статье при помощи метода С<sup>П</sup>М - метода критического пути, отображено сеть подготовительных работ в эксплуатационном поле шахты каменного угля, а также проведено оптимизацию их выполнения. Приведённый метод даёт возможность анализа мероприятия в пределах времени и затрат предназначенных на его выполнение.

OPTIMIZATION OF DEVELOPMENT WORKS IN A FIELD BY THE USE OF THE  
CRITICAL PATH METHOD

## S u m m a r y

A development works analysis has been presented for a colliery flat along with its optimization. The method presented enables analysing of the enterprise in the aspect of the time and expenses required.

