

Jerzy ANTONIAK  
Bogumił FERENSZTAJN  
Eugeniusz SROCZYŃSKI

## MODEL RUCHU KOPALNIANEJ KOLEI PODZIEMNEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono koncepcję modelu matematycznego ruchu kopalnianej kolei podziemnej z uwzględnieniem elastyczności (zmienności) ruchu. Opisany model w pełni odzwierciedla ruch kopalnianej kolei podziemnej uwzględniając jego złożoność.

### 1. WSTĘP

Wzrost wydobycia w przemyśle węglowym obserwowany w ostatnich latach, jak i prognozowany do 2000 roku wymaga rozwoju środków i systemów transportu urobku od frontu wydobywczego aż na powierzchnię kopalni.

Jednym z ogniw tego transportu jest transport kopalnianą koleją podziemną, który w świetle zadań stojących przed górnictwem spełnia bardzo poważną rolę, porównywalną pod względem przewozu masy towarowej z zadaniami PKP.

Rosnące zadania transportowe, zwiększając rolę systemów transportowych w efektach pracy kopalni, skłaniają do poszukiwania dokładnych metod obliczeniowych transportu kopalnianego.

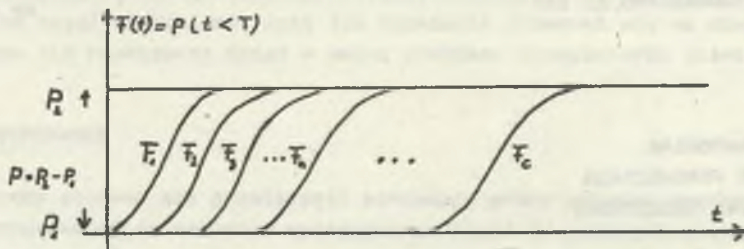
Dotychczasowe metody deterministyczne i stochastyczne cechowała z jednej strony mała dokładność obliczeń, a z drugiej trudność w ustaleniu i kompletowaniu danych wyjściowych.

Tymczasem okazuje się, że można uprościć ten proces przez wprowadzenie modelu probabilistycznego opartego na charakterystykach globalnych [2]. Z drugiej strony, jak wykazały badania, wprowadzając pojęcia inżynierii ruchu [3], można uściślić obliczenia oraz określenie zdolności transportowej kopalnianej kolei podziemnej.

W pracy tej prezentowane są wyniki badań dotyczących budowy modelu matematycznego oraz opisu ruchu kopalnianej kolei podziemnej.

### 2. OPIS MODELU MATEMATYCZNEGO RUCHU KOPALNIANEJ KOLEI PODZIEMNEJ

W paragrafie tym przedstawione zostaną elementy modelu matematycznego ruchu pociągów kopalnianej kolei podziemnej. Model ten służy do określenia liczby pociągów (jednostek transportowych), która w określonym czasie pracy wykonają zadanie transportowe z zadanym prawdopodobieństwem p.



Rys. 1. Przykład ciągu dystrybuant

Dla ilustracji ogólnej koncepcji modelu rozpatrzmy ciąg dystrybuant o liczności większej lub równej od ustalonej liczby  $C$ , pokazany na rys. 1 i zdefiniowany następująco:

Wartość każdej  $n$ -tej dystrybuanty w dowolnym momencie jest równa prawdopodobieństwu kolejnego  $n$ -tego przyjazdu jednostki do końcowego punktu kontrolnego odcinka z punktem wyładowczym przed tym momentem.

Można to zapisać następująco:

$$F_n(\tau) = p[W_n, n | t < \tau] \quad n = 1, 2, \dots, C, \quad (1)$$

gdzie:

- $n$  - numer kolejnego cyklu, jaki wykonuje jednostka transportowa,
- $W_n$  - całkowita ilość urobku przewieziona w  $n$ -cyklach,
- $t$  - moment  $n$ -tego przyjazdu jednostki do końcowego punktu kontrolnego.

Wartość  $C$ -tej dystrybuanty dla  $\tau = T$  jest poszukiwanym prawdopodobieństwem wykonania zadania transportowego. Ogólnie z ciągu tego można wnioskować o prawdopodobieństwie przewiezienia każdej ilości urobku w każdym momencie pod warunkiem wygenerowania odpowiedniej do interesującej nas ilości urobku liczby dystrybuant.

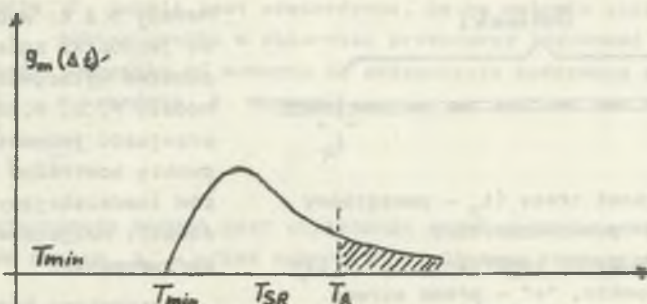
Model matematyczny powinien służyć do obliczenia opisanego ciągu dystrybuant.

Istotne znaczenie w opisie modelu mają założenia charakteryzujące czynniki przypadkowości związane z poszczególnymi elementami systemu transportowego.

Czynniki te można opisać podając charakterystykę globalną odpowiedniego odcinka systemu transportowego (gęstość rozkładu prawdopodobieństwa czasu przejazdu) jednostki przez odcinek,  $g_m(\Delta t)$ .

Charakterystyka taka może być oparta na rozkładzie Erlanga, identyfikowanym czasami przejazdu: minimalnym  $T_{\min}$ , średnim  $T_{BR}$ , awaryjnym  $T_A$  oraz prawdopodobieństwem  $P_A$  wystąpienia awarii w czasie  $T_A$ .

Czasy te można obliczać z parametrów trakcyjnych jednostek oraz odcinków (rys. 2).



Rys. 2. Ilustracja identyfikacji charakterystyki globalnej

Charakterystykę globalną pokazaną na rys. 2 można zapisać następująco:

$$g_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x < 0 \\ \frac{\lambda^{n-1}}{(n-1)!} x^{n-1} e^{-x} & \text{dla } x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$$x = t - T_{\min},$$

$t$  - czas przejazdu jednostki przez odcinek,

$n, \lambda$  - liczby wyznaczone w oparciu o następującą zależność:

$$E(x) = T_{\text{sr}} - T_{\min} = \frac{n}{\lambda} \quad (3)$$

przy czym, jeżeli:

$$P_A^*(n) = \int_{T_A - T_{\min}}^{+\infty} g_1(x) dx, \quad (4)$$

to  $n$  określa się z wyrażenia:

$$\min [ |P_A - P_A(n)| ] \quad n = 1, 2, \dots \quad (5)$$

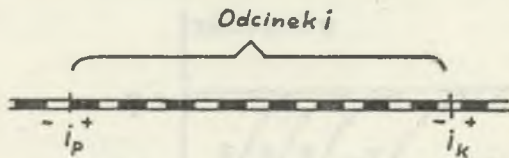
Częściami składowymi modelu matematycznego są modele technologii przejazdu przez pociąg elementów trasy zwane modułami modelu matematycznego [2].

Zestaw modułów obejmuje:

Moduł A: model przejazdu jednostki przez odcinek torów.

Moduły B i C: model przejazdu jednostki przez odcinek z punktem załadoczym.





Rys. 3. Odcinek trasy ( $i_p$  - początkowy punkt kontrolny  
 $i_k$  - końcowy punkt kontrolny, "-" - lewa strona punktu, "+" - prawa strona punktu)

swej logice działania sprowadzany do modułu A, czyli przejazdu jednostki transportowej przez odcinek trasy (rys. 3).

Prawdopodobieństwo pojawienia się  $j$ -tej jednostki za  $i_p$ -tym punktem kontrolnym przed momentem zadane jest dystrybuantą

$$F_{j, i_p}^+(z) = \int_0^z g_{j, i_p}(\xi) d\xi, \quad (6)$$

gdzie:

$g_{j, i_p}$  - jest gęstością rozkładu prawdopodobieństwa.

Prawdopodobieństwo czasu przejazdu  $\Delta t$  przez  $l$ -ty odcinek  $j$ -tej jednostki określa charakterystyka globalna. Poszukiwana jest zatem gęstość rozkładu prawdopodobieństwa pojawienia się jednostki przed końcowym punktem kontrolnym  $i_k$ , przed momentem  $t = t + \Delta t$ . Gęstość ta jest gęstością sumy dwóch zmiennych losowych i wynosi:

$$g_{j, i_k}^-(t) = \int_0^t g_{j, i_p}^+(t) \cdot g_1(t-\tau) d\tau, \quad (7)$$

a odpowiednia dystrybuanta ma postać:

$$F_{j, i_k}^-(t) = \int_0^t g_{j, i_k}^-(\xi) d\xi. \quad (8)$$

Analiza przejazdu przez odcinek zawierający np. zbiornik wyrównawczy jest podobna, przy czym wymaga rozpatrzenia procesu gromadzenia się urobku w zbiorniku.

W celu bliższego sprecyzowania problemu rozpatrzmy opis przejazdu jednostki transportowej przez odcinek ze stacją załadunkową (moduł C), przy czym zakładamy, że jednostka w momencie przejechania początkowego punktu kontrolnego  $i_p^+$  jest już gotowa do załadunku, który rozpoczyna

Moduły D i E: model przejazdu jednostki przez odcinek z punktem wyładunkowym.

Moduły F, G, H, J - modele przejazdu jednostki przez punkty kontrolne różnych typów (oddzielający dwa odcinki): rozjazdowy, zjazdowy, skrzyżowanie.

Zasadniczo każdy z wymienionych tutaj modułów jest w

się w momencie  $\xi$ , jeżeli jest stwierdzone, że po upływie stałego czasu ładowania  $t_z$  poziom urobku w zbiorniku przekroczy ładowność jednostki. Czas przejazdu jednostki od momentu do osiągnięcia końcowego punktu kontrolnego  $i_k$  - w momencie  $t$  wynosi:

$$\Delta t = t - \xi .$$

Celem opisywanego modułu jest obliczenie prawdopodobieństwa dojazdu jednostki do punktu  $i_k$  - przed momentem  $t$ . Dlatego rozpatrzmy dwa przypadki:

- jeżeli znane jest prawdopodobieństwo pojawienia się jednostki ze punktem  $i_p$  oraz prawdopodobieństwo dostatecznego stanu zapełnienia zbiornika (obliczone modułem B), to należy znaleźć gęstość rozkładu  $(g_{j,i}(\xi))$  prawdopodobieństwa rozpoczęcia ładowania w momencie  $\xi$ ,
- jeżeli znana jest charakterystyka globalne  $g_{j,i}(\Delta t)$  rozpatrywanego odcinka, uwzględniająca przejazdy zarówno pod wysypem, jak też po wolnych torach oraz gęstość  $g_{i,z}(\xi)$  omówiona wyżej, to identyczne rozumowanie jak dla modułu A prowadzi do zależności na szukaną gęstość i dystrybuantę:

$$g_{j,i_k}(t) = \int_0^t g_{i,z}(\xi) \cdot g_{j,i_z}(t-\xi) d\xi$$

1 (9)

$$F_{j,i_k}(t) = \int_0^t g_{j,i_k}(\xi) \cdot d\xi .$$

Przy czym obliczanie gęstości  $g_{i,z}(\xi)$  rozpoczęcia ładowania w momencie  $\xi$  można obliczyć ze wzoru:

$$g_{i,z}(\xi) = F_{j,i_p}(\xi) \cdot \frac{P(t+dt) - P(t)}{dt} + g_{j,i_p}(\xi) \cdot P(D) , \quad (10)$$

gdzie:

$$P(D) = \frac{P(t+dt) - P(t)}{dt} \cdot (\xi + t_z - t) + P(t)$$

$P(t)$  - oznacza prawdopodobieństwo przekroczenia pojemności w momencie  $t$ ,

$P(t+dt)$  - oznacza prawdopodobieństwo przekroczenia pojemności jednostki w momencie  $t=dt$ .

Zależność (10) umożliwia obliczenie  $F_{j, i_k^-}(t)$ , co jest celem opisywanego modelu.

Szczególnym przypadkiem ruchu jednostki transportowej jest przejazd przez punkt kontrolny. Ogólnie mówiąc przejazd  $j$ -tej jednostki przez  $i_p$ -ty punkt kontrolny zgodnie z założoną organizacją ruchu może nastąpić tylko wtedy, gdy poprzedzająca  $j_p$ -ta jednostka opuści  $i$ -ty odcinek, czyli przejedzie końcowy  $i_k$ -ty punkt kontrolny.

Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa pojawienia się  $j$ -tej jednostki za punktem  $i_k$  dana jest wzorem:

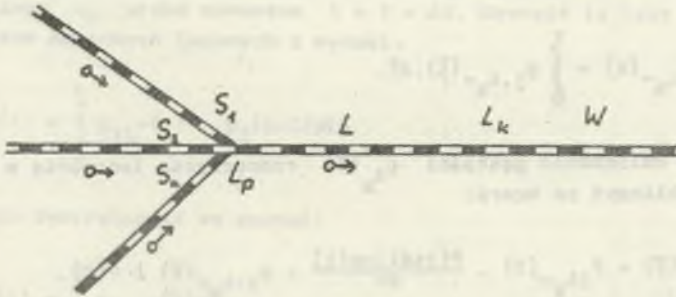
$$g_{j i_p^+}(t) = g_{j i_p^-}(t - t_v) \cdot F_{j p i_k^+}(t - t_v) + F_{j i_p^-}(t - t_p) \cdot g_{j p i_k^+}(t - t_p), \quad (11)$$

gdzie:

$$t_v = \frac{l}{v} \quad (l - \text{długość jednostki, } v - \text{prędkość})$$

$$t_p = 2 \frac{v}{a} \quad (a - \text{przyspieszenie}).$$

Praca zbiornika wyładowczego i przejazd jednostki przez odcinek z punktem wyładowczym odbywa się według podobnego modelu, jak to opisano w poprzednich przypadkach. Jedyną różnicą to fakt, że w przypadku punktu wyładowczego zamiast dostawy urobku rozważa się jego odbiór przez urządzenie wyciągowe oraz zamiast oczekiwania na załadowanie z powodu braku urobku ma się tu do czynienia z oczekiwaniem na rozładowanie z powodu przepełnienia zbiornika.



Rys. 4. Schemat fragmentu sieci z punktem kontrolnym zjazdowym

Pozostałe moduły opisujące przejazd jednostki transportowej przez punkt zjazdowy, rozjazdowy oraz skrzyżowanie posiadają odrębny charakter. Wynika to z faktu, że przy tworzeniu ich należy uwzględnić elementy decyzyjne, jakie występują przy ich opisie.

Dla przykładu rozpatrzmy proces przejazdu jednostki przez zjazdowy punkt kontrolny (moduł H), schematycznie pokazany na rys. 4.



Kolejność wjazdu poszczególnych jednostek na odcinek wspólny uzależniona jest od momentów zgłoszenia się tych jednostek w końcowych punktach kontrolnych  $S_1, S_2, \dots, S_n$ .

Zakłada się, że o kolejności zjazdu z pętli na wspólny odcinek decyduje wartość oczekiwana  $E_{j,sk}(\bar{z})$  momentów zgłoszeń poszczególnych jednostek transportowych w punktach końcowych  $S_1, S_2, \dots, S_u$  liczona w przedziale  $[0, \bar{T}]$ .

$$E_{j,sk}(\bar{z}) = \int_0^{\bar{T}} \bar{z} \cdot g_{1,sk}(\bar{z}) d\bar{z} \quad (12)$$

Pierwszeństwo otrzymuje jednostka, której wartość oczekiwana  $E_{j,sk}(\bar{z})$  osiąga minimalną wartość.

W podobny sposób jest opisany proces przejazdu przez rozjazdowy punkt kontrolny oraz przez różnego rodzaju warianty skrzyżowania.

Prezentowane moduły pozwalają na zbudowanie modelu matematycznego systemu transportowego kopalnianej kolei podziemnej. Model ten może być wykorzystany do wyznaczania liczby jednostek zapewniającej wykonanie zadania transportowego i dla określenia wielkości zbiorników wyrównawczych oraz do sterowania ruchem jednostek transportowych. Umożliwia to przede wszystkim modułowość modelu systemu transportowego.

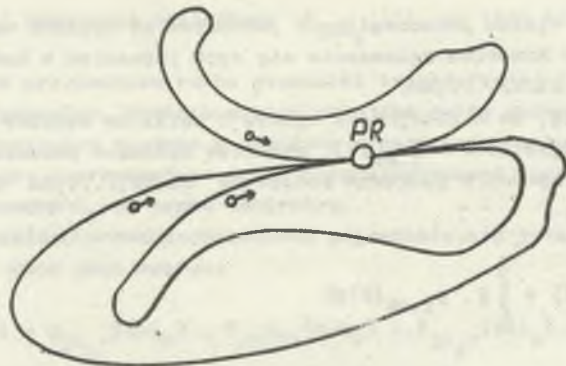
### 3. ZASTOSOWANIE MODELU DO WYZNACZENIA PARAMETRÓW W SYSTEMACH TRANSPORTOWYCH Z AKUMULATORAMI

Przedstawiony w poprzednim rozdziale model transportu kołowego został wykorzystany [2] do wyznaczania głównych parametrów transportu kołowego dla nowoczesnych systemów transportowych. Jednakże na wielu istniejących poziomach struktura systemu transportowego odbiega od przedstawionych w pracy [2]. Przede wszystkim systemy te nie posiadają, względnie posiadają za małe zbiorniki przy punktach załadunkowych. Występuje więc konieczność stosowania tzw. akumulatorów wozów, umiejscowionych przeważnie w pobliżu podziemia.

Powstaje, przy uwzględnieniu nierównomierności wpływu urobku do punktów załadunkowych w ciągu zmiany, zagadnienie tzw. elastyczności ruchu kopalnianej kolei podziemnej. Rozszerzenie przedstawionego modelu transportu na te przypadki stanowi treść niniejszego punktu.

W celu ilustracji problemu rozpatrzmy sieć transportową składającą się z trzech pętli i jednego punktu wyładunkowego, która posiada akumulatory wozów (rys. 5).

Może się zdarzyć, że do punktu rozładunkowego zjadą jednocześnie trzy pociągi z trzech różnych punktów załadunkowych. W punkcie rozładunkowym powstaje więc kolejka pociągów oczekujących na rozładowanie. Należy za-



Rys. 5. Przykładowa sieć transportowa

znaczyć, że w przypadku wprowadzenia do rozładowania jednego pociągu, pozostałe dwa oczekując na rozładowanie blokują jednocześnie ruch na swoich pętlach. Oddziaływanie wsteczne oczekujących na rozładowanie jednostek transportowych zwiększa czas cyklu jednostek pozostałych, a tym samym powoduje zmniejszenie wydajności systemu transportowego. W celu zmniejszenia wpływu tego oddziaływania kieruje się oczekujące pełne jednostki transportowe do akumulatorów pociągów, gdzie tworzą one kolejkę.

Jednym ze sposobów rozwiązania problemu jest zwiększenie ilości pociągów o długość kolejki, co pozwoli na utrzymanie w ruchu wystarczającej liczby pociągów określonych przez model opisany w poprzednich paragrafach. Istotną rzeczą jest zatem określenie długości kolejki pod zbiornikiem rozładowczym.

Aby wykorzystać do obliczeń model, należy go w przypadku istnienia akumulatorów uzupełnić o dwa moduły będące modyfikacjami już istniejących:

- Moduł punktu rozjazdowego, kierującego pociąg do akumulatora. Decyzja o skierowaniu pełnego pociągu do akumulatora jest uzależniona od momentu zgłoszenia się jednostek na punkt wyładowczy na pozostałych pętlach. Moment zgłoszenia jest definiowany - podobnie jak przy opisie punktu zjazdowego - jako wartość oczekiwana momentu zgłoszenia się jednostki.
- Moduł punktu zjazdowego jednostek z akumulatora wozów. Decyzja o opuszczeniu akumulatora przez jednostkę podejmuje się w oparciu o sytuację na punkcie kontrolnym przed punktem wyładowczym.

Jednocześnie z decyzją o skierowaniu jednostki transportowej do akumulatora podjęta jest decyzja o skierowaniu dodatkowej jednostki na trasę.

Tak określone dodatkowo moduły pozwalają na wyznaczenie niezbędnej całkowitej liczby potrzebnych jednostek.



Ze względu na konieczność zachowania harmonijnego ruchu pociągów jednostki są włączane i wyłączane z ruchu, zgodnie z decyzjami powziętymi na punkcie kontrolnym przy wjeździe na odcinek z punktem wyładowniczym.

Korzystając z metod teorii masowej obsługi, wprowadzając pojęcie prawdopodobieństwa stanu systemu  $P_k(t)$ , które jest prawdopodobieństwem zdarzenia, że w chwili  $t$  w kolejce znajduje się  $k$  jednostek transportowych, otrzymuje się wzór na długość kolejki:

$$n_k = m - \frac{\lambda_k + \mu}{\lambda_k} \cdot (1 - P_0), \quad (13)$$

gdzie:

$m$  - ilość jednostek w systemie,

$\lambda_k$  - czas wyładowania pociągu,

$\mu$  - czas cyklu,

$P_0$  - prawdopodobieństwo, że w chwili zgłoszenia nie będzie kolejki.

Ponieważ do wykonania zadanego potrzebne jest  $m$  pociągów, zatem aby zagwarantować jego wykonanie, należy do systemu wprowadzić dodatkowo  $n_k$  jednostek transportowych.

Należy tutaj podkreślić, że ze względów dyspozycyjnych kolejka pod szybem może stanowić element pozytywny. Pełni ona bowiem rolę zbiornika wyrównawczego lub jego uzupełnienie oraz stanowi bazę jednostek transportowych, którą ma do swojej dyspozycji dysponent ruchu. Istotną sprawą w ruchu kopalnianej kolei podziemnej jest zmienność zapotrzebowania na pociągi, powstająca w wyniku intensywności spływu węgla w punktach załadunkowych. Analizując pracę systemu transportowego można zauważyć, że maksymalna liczba pociągów nie zawsze jest potrzebna na trasie. Jest to istotny problem z punktu widzenia ekonomiki i organizacji transportu, jako że pociągi w danej chwili zbędne mogą być wykorzystane do innych prac. Powstaje zatem problem sterowania włączaniem i wyłączaniem pociągów do ruchu.

W oparciu o teorię decyzji można zauważony problem rozwiązać teoretycznie. Można pokazać mianowicie, [3] że dystrybuenta momentów  $x$  - uruchomienia kolejnego pociągu ma postać:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < \left(\frac{Q_2}{Q_2+Q_1}\right) \cdot \frac{Q_2+Q_1}{Q_2} \\ \int_0^x \frac{Q_1}{Q_2+Q_1} t^{-\frac{Q_1}{Q_2+Q_1}-1} dt & 0 \leq x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases} \quad (14)$$

gdzie:

$Q_1, Q_2$  - współczynniki określające zyski (straty) w wyniku prawidłowej (błędnej) decyzji o włączeniu jednostki transportowej do ruchu [3].

W szczególnym przypadku istnienia zbiorników wyrównawczych dopuszczalne jest założenie, że  $Q_1 = Q_2$  i wtedy otrzymujemy, że funkcja włączania jednostek transportowych do ruchu określona jest wzorem:

$$K(t) = \begin{cases} 0 & 0 < t < \frac{1}{4} \\ 2m - \frac{m}{Tt} & \frac{1}{4} < t < 1 \end{cases}, \quad (15)$$

gdzie  $m$  określa maksymalną ilość jednostek transportowych wyznaczonych przez model opisany w paragrafie 2, a czas pracy  $T$  jest czasem unormowanym, to znaczy  $T = 1$ . Funkcja  $K(t)$  jest wartością oczekiwaną zmiennej losowej  $X(t)$  określającej ilość jednostek transportowych włączonych do ruchu w chwili  $t$  [4].

Problemy włączania i wyłączania pociągów do ruchu są analogiczne, określają one efektywność ruchu kopalnianej kolei podziemnej. Uwzględnienie tych zagadnień w opisie ruchu kolei jest istotnym czynnikiem wpływającym na płynność ruchu jednostek transportowych, a co za tym idzie wpływającym na wielkość wykonywanego zadania transportowego.

#### 4. WYNIKI BADAŃ EMPIRYCZNYCH

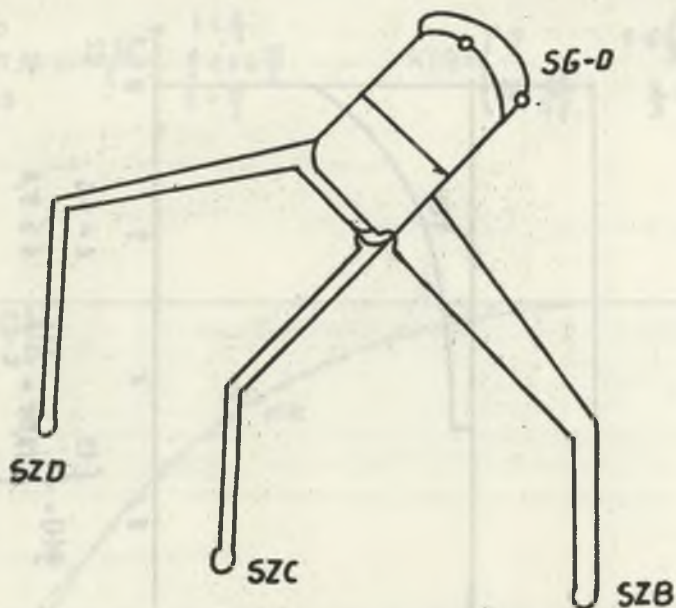
W celu sprawdzenia założeń oraz poprawności modelu przeprowadzono serię pomiarów na poziomie 750 m kop. "S", którego schemat sieci transportowej pokazano na rys. 6.

Urobek transportowany wozami Granby o pojemności  $5,1 \text{ m}^3$ , ciągnionymi przez lokomotywy przewodowe Ld-30 i Ld-31. Pomiary ruchu kopalnianej kolei podziemnej polegały na odnotowaniu czasu przejazdów pociągów przez charakterystyczne punkty sieci transportowej, zwracając szczególną uwagę na zagadnienie włączania i wyłączania z ruchu pociągów.

W tabeli 1 przedstawiono liczbę jednostek transportowych potrzebnych do zrealizowania zadania transportowego w czasie zmiany.

Rysunek 7 przedstawia funkcję włączania pociągów do ruchu  $f(t)$  oraz funkcję wyłączania z ruchu  $g(t)$ . Funkcje te otrzymano na podstawie wyników badań.

Dla porównania, na rys. 8 pokazano ponownie funkcję  $f(t)$  empiryczną łącznie z tą funkcją uzyskaną teoretycznie.



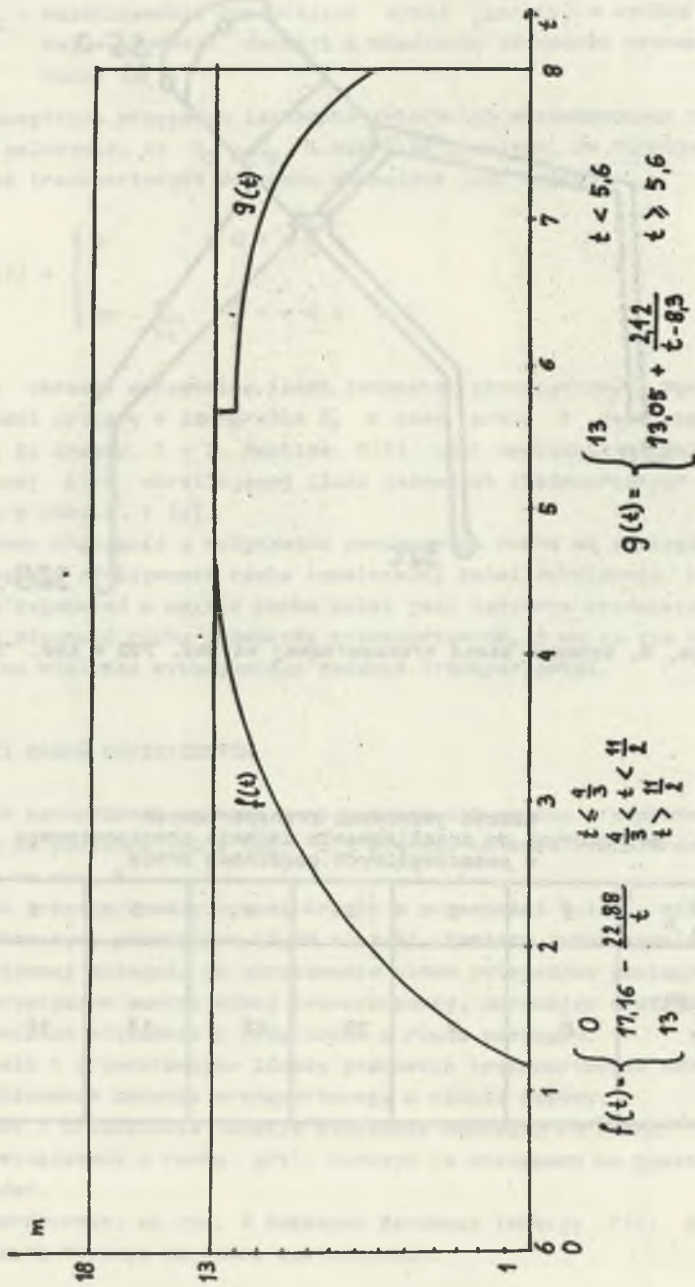
Rys. 6. Schemat sieci transportowej na poz. 750 w kop. "S"

Tabela 1

Liczba jednostek transportowych potrzebnych do zrealizowania zadania transportowego w poszczególnych godzinach pracy

Czas pracy, h	1	2	3	4	5	6	7
Liczba pociągów, szt.	0	7	10	12	13	12	9

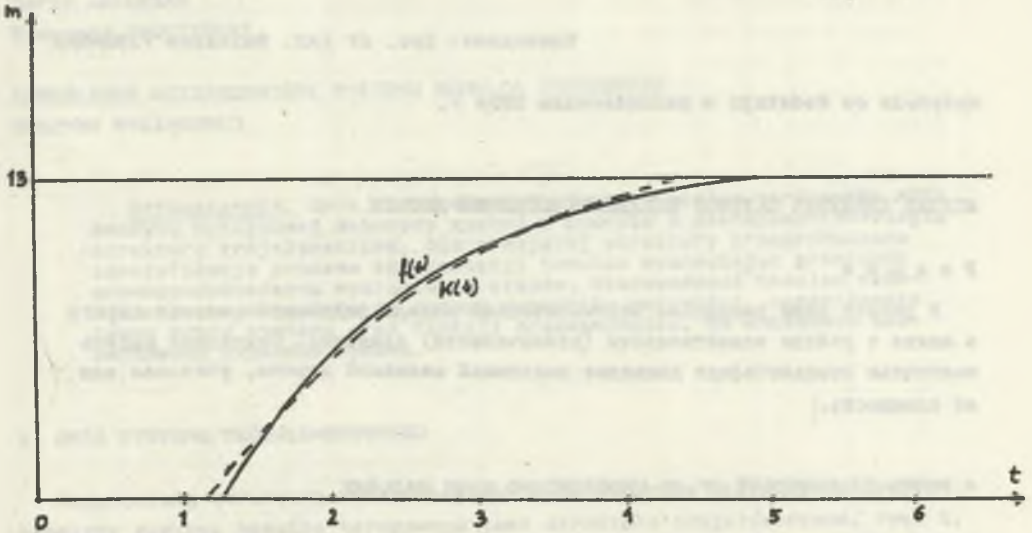




Rys. 7. Funkcje włączenia i wyłączenia pociągów do ruchu

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < \frac{4}{3} \\ 17,16 - \frac{22,88}{t} & \frac{4}{3} < t \leq \frac{11}{2} \\ 13 & t > \frac{11}{2} \end{cases}$$

$$K(t) = \begin{cases} 0 & t \leq \frac{4}{3} \\ 26 - \frac{13}{\sqrt{t}} & \frac{4}{3} < t \leq 5 \end{cases}$$



Rys. 8. Zestawienie funkcji empirycznej i teoretycznej włączenia pociągów do ruchu

##### 5. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

- a) W pracy opisano model ruchu kopalnianej kolei podziemnej z uwzględnieniem elastyczności ruchu.
- b) Opisany model może służyć do określenia zdolności transportowej kopalnianej kolei podziemnej dla szerokiej klasy systemów transportowych.
- c) Opisany model może służyć jako punkt wyjścia do budowy modelu dyspozytora ruchu.
- d) Opisany model może służyć do optymalizacji transportu kołowego kopalnianej kolei podziemnej.
- e) Uwzględnienie czynników losowych sprawia, że uzyskiwane wyniki są zgodne z pomiarami i wynikami empirycznymi.

##### LITERATURA

- [1] Antoniuk J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wyd. "Śląsk", Katowice 1976.
- [2] Ferenczajtajn B.: Model matematyczny transportu urobku koleją podziemną na poziomach o dużej koncentracji wydobycia. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1980.

- [3] Sroczyński E.: Problem konfiguracji początkowej w ruchu kopalnianej kolei podziemnej. "Projekty-Problemy" Nr 7-8, 1980.
- [4] Stark R., Nicholls R.: Matematyczne podstawy projektowania inżynierskiego. PWN, Warszawa 1979.

Recenzent: Doc. dr inż. Bolesław FIRGANEK

Wpłynęło do Redakcji w październiku 1984 r.

#### МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ШАХТНОЙ ПОДЗЕМНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

##### Р е з ю м е

В работе дана концепция математической модели подземной железно дороги в шахте с учётом эластичности (изменчивости) движения. Описанная модель полностью отождествляет движение подземной железной дороги, учитывая всю её сложность.

#### A MODEL OF MOVEMENT OF AN UNDERGROUND MINE RAILWAY

##### S u m m a r y

In the paper a mathematical model of an underground mine railway movement with regard to movement elasticity (changeability) has been presented. The model described here presents well the movement of this railway regarding movement complexity.