

Bronisław Seweryn

ANALIZA WPŁYWU URZĄDZEŃ ZABEZPIECZENIA RUCHU POCIĄGÓW
NA MOŻLIWOŚCI PRZEWOZOWE PODZIEMNEGO TRANSPORTU SZYNOWEGO

Streszczenie. W artykule dokonana została analiza wpływu urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów na możliwości przewozowe głównego transportu szynowego oraz analiza zdolności przewozowych głównego transportu szynowego zarówno bez wyposażenia w urządzenia zabezpieczenia pociągów jak i z wyposażeniem.

Efekty techniczno-ruchowe uzyskiwane przez zastosowanie urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów przedstawiono w zależności od szybkości jazdy pociągów, natężenia ruchu i układu torowego. Podana w artykule metoda ustalania możliwości przewozowych głównego transportu szynowego pozwala określić zdolność przelotową układów transportowych i równocześnie określić rezerwę w możliwościach przewozowych w przypadku zwiększenia szybkości jazdy pociągów lub zwiększenia ładowności układu.

1. Charakterystyka urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów stosowanych w podziemnym transporcie szynowym

Urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów zapewniając bezpośrednio bezpieczeństwo ruchu pociągów wpływają w sposób zasadniczy na zdolność przepustową głównego transportu szynowego [3]. Stosowanie ich jest możliwe jako samodzielnych środków zwiększających zdolność przepustową lub jako środków towarzyszących innym sposobom zwiększania zdolności przepustowej jak np. zastosowanie innego typu lokomotyw, zwiększenie ładowności pociągów, budowa mijanek, układanie dodatkowych torów itp. Wyposażenie poziomu w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów winno być poprzedzone analizą techniczno-ekonomiczną określającą stopień wyposażenia w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów. Zgodnie z wymaganiami technicznymi RWPG przewiduje się wyposażenie poziomów w następujące elementy urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów:

- a) automatyczna blokada zwrotnic i semaforów - ABZS,
- b) automatyczna blokada semaforów - ABS,
- c) automatyczne sterowanie i blokada zwrotnic - AZ,
- d) centralne sterowanie i blokada semaforów i zwrotnic - EC,
- e) blokada liniowa semaforów - LS.

Automatyczna blokada zwrotnic i semaforów ABZS stosowana jest na węzłach trakcyjnych i podczybiach nie wymagających centralnego sterowania

zwrotnic i semaforów.

Automatyczna blokada semaforów ABS stosowana jest na węzłach trakcyjnych o małym natężeniu ruchu.

Automatyczne sterowanie i blokada zwrotnic AZ stosowana jest w przypadkach, gdy występuje konieczność przestawienia zwrotnicy z lokomotywy znajdującej się w ruchu, bez potrzeby stosowania blokady semaforowej. Rozwiązanie takie eliminuje konieczność zatrzymywania się pociągu przy wjazdach do komór, pod stacje rozładowcze itp.

Centralne sterowanie i blokada semaforów i zwrotnic EC stosowane jest na podszybiach i węzłach trakcyjnych wymagających centralnej dyspozycji.

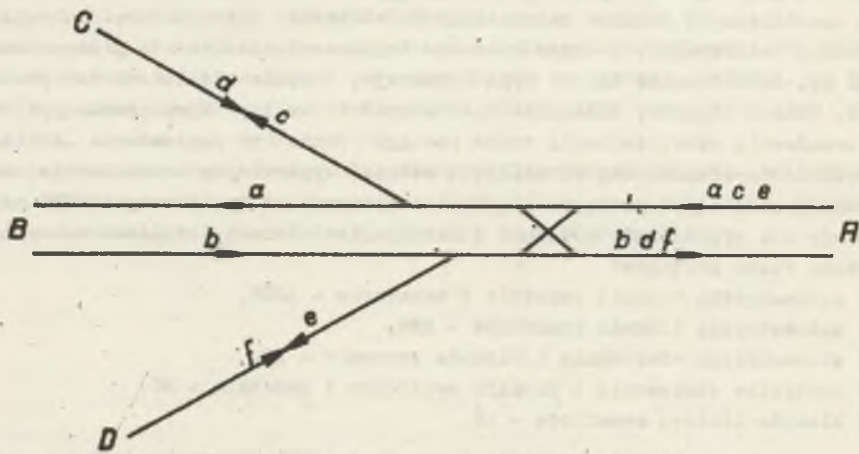
Blokada liniowa semaforów LS umożliwia wjazd jedynie jednego pociągu na ochroniony semaforami odcinek trasy przewozowej. Rozwiązanie takie jest szczególnie przydatne przy długich odcinkach tras przewozowych, na poziomach o dużej koncentracji.

2. Analiza układów torowych

Autor poddał analizie układy torowe z 48 poziomów 36 kopalń węgla kamiennego, na których są zabudowane, bądź przewiduje się do zabudowy urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów np. Bielszowice poz. 840, Bobrek poz. 726, Knurów poz. 550 i poz. 650, Radzionków poz. 630, Staszic poz. 500 i 720, Szombierki poz. 510 [4].

W analizowanych układach przewóz urobku dokonywany jest wozami samowładowczymi i zwykłymi.

Z analizy wynika, że w układach torowych podszybi, węzłów trakcyjnych przelotowych i punktów załadowczych powtarza się 9 konfiguracji układów torów i technologii prowadzenia ruchu. Układy torowe nie odpowiadające u-



Rys. 1. Szkic technologiczny układu torowego

stalonym 9 konfiguracjom, występują w głównym transporcie szynowym bardzo sporadycznie. Około 4% układów torowych odbiega od ustalonych konfiguracji i wymaga indywidualnych analiz. W artykule zostanie przeprowadzona analiza wpływu urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów na możliwości przewozowe jednej konfiguracji układu torowego i technologii prowadzenia ruchu, występującej z zasady w przekopach, na odgałęzieniach tras przewozowych głównego transportu szynowego, przedstawionej na rys. 1.

Układ ten poddano obliczeniom zdolności przepustowej w zależności od niewyposażenia lub wyposażenia w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów, w zależności od wielkości natężenia ruchu pociągów i w zależności od szybkości jazdy.

3. Zasadnicze dane wyjściowe przyjęte do obliczeń przepustowości

- 1) Wielkość wydobycia brutto z poziomu - 4000 - 30000 mg/dobę
- 2) Wielkość wydobycia przypadająca na jedno urządzenie wyciągowe - 4000 - 15000 Mg/dobę
- 3) Ilość składów pociągowych przepuszczanych przez układ torowy na kierunku zbiorczym - 40, 70, 100, 120, 150 poc/dobę
- 4) Rozdział ilości składów na poszczególne kierunki:

Łączna ilość składów	40	70	100	120	150
Ilość składów kierunków a, b,	20	30	40	60	70
Ilość składów kierunków c, d, e, f	10	20	30	30	40
- 5) Ładowność składu brutto - 100 Mg

Zastosowana metoda przepustowości pozwala określić przepustowość wężła trakcyjnego, przy dowolnej ładowności składów pociągowych.

- 6) Wielkość wydobycia przepuszczonego przez układ torowy, przy założonej ładowności składu pociągowego - 4000, 7000, 10000, 12000, 15000Mg/dobę.
- 7. Długość składu pociągu, limitującą aktualnie ładowność pociągu - 100 m.
- 8. Czas pracy transportu na zmianie - 7,5 h.
- 9. Liczba zmian produkcyjnych w ciągu doby - 2.
- 10. Szybkość składów pociągów - 5, 10, 15, 20, 25 km/h.

Założono, że ruch pociągów po rozjazdach odbywa się z tą samą szybkością co po torach trakcyjnych.

4. Charakterystyka metody obliczania zdolności przepustowej podziemnego transportu szynowego

Metody matematyczne do obliczeń zdolności przepustowej transportu kolejowego zostały wprowadzone przez G. Potthoffa [1], [2], który zastosował rachunek prawdopodobieństwa do rozwiązywania zagadnień przepustowości. Autor artykułu przetransponował metody Potthoffa do obliczania prze-

pustowości w podziemnym transporcie maszynowym.

W celu określenia zdolności przepustowej określonego układu torowego należy obliczyć czas zajęcia układu torowego przez przebiegi uzależnione.

Praktycznie każda kolejność wjazdu pociągów na dany układ torowy może być oczekiwana z jednakowym prawdopodobieństwem. Zakładając, że następujące po sobie przebiegi stanowią zdarzenia niezależne, można ustalać następstwo pociągów w drodze losowania kolejnych przebiegów i uzyskiwać różne wartości minimalnego czasu zajęcia węzła jako zmiennej losowej. Kolejność przejazdu pociągów przez układ torowy jest całkowicie losowa i odpowiada tzw. schematowi losowania ze zwracaniem. W przypadku transportu szynowego, gdzie ilość pociągów N przejeżdżających przez węzeł jest duża i interesuje nas następstwo tylko dwóch elementów, różnice w charakterystykach przy schemacie ze zwracaniem i bez zwracania są minimalne i nieistotne.

Jeżeli przez $\{n_i\}$ oznaczyć liczbę pociągów przejeżdżających w ciągu doby przez układ torowy po drodze przebiegu "i", przy ogólnej liczbie pociągów przejeżdżających przez układ torowy podczas doby $N = \sum n_i$, to prawdopodobieństwo zdarzenia, że nadjeżdżający pociąg jest pociągiem, który przejeździe po drodze przebiegu "i" wynosi:

$$P_i = \frac{n_i}{N}, \quad (1)$$

zaś prawdopodobieństwo zdarzenia, że po przebiegu "i" nastąpi przebieg "j" wynosi:

$$P_{i,j} = \frac{n_i \cdot n_j}{N^2} \quad (2)$$

Oczekiwana liczba przypadków, w których po przebiegu "i" nastąpi przebieg "j" wynosi:

$$L_{i,j} = \frac{n_i \cdot n_j}{N^2} \cdot N = \frac{n_i \cdot n_j}{N} \quad (3)$$

Obliczając oczekiwane liczby pojawienia się par następujących po sobie przebiegów, dla wszystkich par wzajemnie uzależnionych przebiegów, otrzymuje się oczekiwaną liczbę przebiegów N_{kt} , które przy założeniu ich losowej kolejności znajdują się na ścieżce krytycznej i będą decydować o czasie zajęcia układu torowego w ciągu doby.

Mnożąc każdą oczekiwaną liczbą par wzajemnie uzależnionych przebiegów przez najmniejszy odstęp czasowy między pociągami biegnącymi po tych przebiegach i sumując otrzymane wyniki, uzyskuje się oczekiwany czas zajęcia układu torowego w ciągu doby T_x . Oczekiwany stopień zajęcia układu torowego określony jest jako iloraz oczekiwanego czasu zajęcia układu torowe-

go w ciągu doby T_z i czasu pracy głównego transportu na poziomie w ciągu doby T , zatem

$$S = \frac{T_z}{T} \quad (4)$$

Średni czas zajęcia węzła, przypadający na jeden przebieg znajdujący się na ścieżce krytycznej, wynosi:

$$t_{sr} = \frac{T_z}{N_{kr}} \quad (5)$$

Zakładając niezbędny zapas czasu wynikający z konieczności hamowania pociągu i ponownego rozruchu w wielkości Z_0 współczynnik wykorzystania zdolności przepustowej układu torowego określony jest jako

$$\eta = \frac{N_{kr} / t_{sr} + Z_0}{T} \quad (6)$$

Obliczeń przepustowości dokonano dla danego układu torowego, przyjmując, że układ torowy nie jest wyposażony w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów oraz zakładając wyposażenie układu torowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów. Określając przez η_b - współczynnik wykorzystania zdolności przepustowej układu torowego bez urządzeń z r p i przez η_z - współczynnik wykorzystania zdolności przepustowego układu torowego wyposażonego w urządzenia z r p można poprzez zależność

$$\eta = \frac{\eta_b}{\eta_z} \quad (7)$$

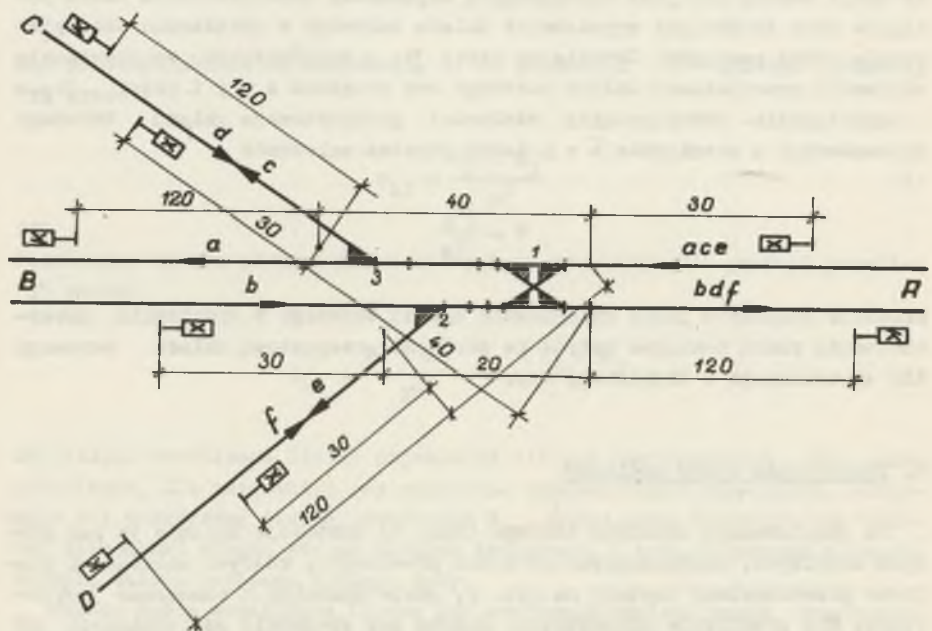
określić stopień w jakim wyposażenie układu torowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów wpływa na zdolność przepustową układu torowego nie wyposażonego w urządzenia zrp.

5. Technologia ruchu pociągów

Na analizowanym układzie torowym (rys. 1) występuje łącznie 36 par różnych możliwych, następujących po sobie przebiegów, których zależności wzajemne przedstawione zostały na rys. 2, gdzie symbolem x oznaczono wykluczenia się przebiegów sprzecznych. Liczba par wzajemnie uzależnionych od siebie przebiegów wynosi 28, natomiast 8 par przebiegów, to pary przebiegów niezależnych mogących się odbywać jednocześnie. Można przyjąć, że na analizowanym układzie torowym przebiegi a, c i e są przebiegami pociągów próżnych a przebiegi b, d i f są przebiegami pociągów ładownych.

		Przebiegi					
		a	b	c	d	e	f
Przebiegi	a	×		×	×	×	
	b		×		×	×	×
	c	×		×	×	×	
	d	×	×	×	×	×	×
	e	×	×	×	×	×	×
	f		×		×	×	×

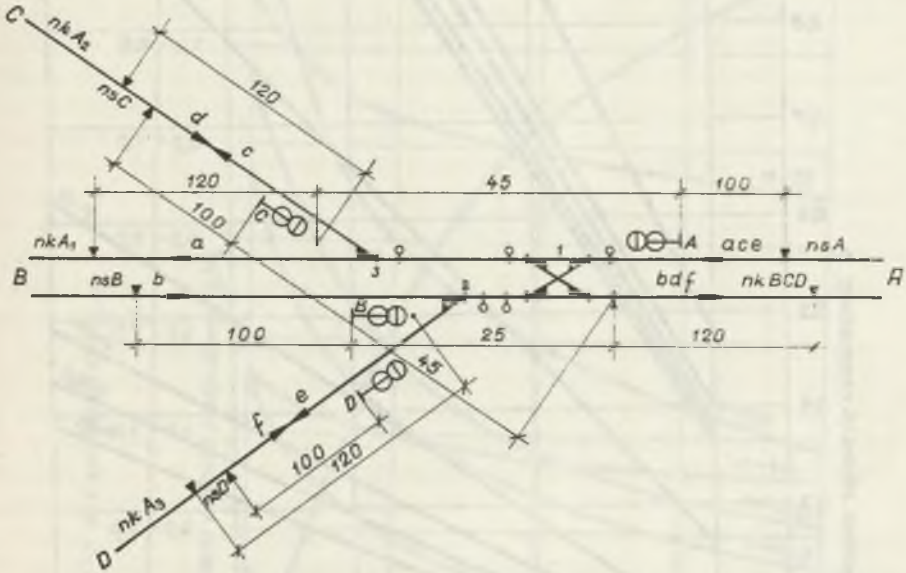
Rys. 2. Tablica zależności przebiegów



Rys. 3. Plan schematyczny układu torowego bez wyposażenia w urządzenia zrp

W przypadku niewyposażenia układu torowego z rys. 1 w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów odpowiadający ustalonej technologii ruchu pociągów plan schematyczny przedstawiono na rys. 3.

Zakładając wyposażenie analizowanego układu torowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów typu ABZS, a więc automatycznej blokady zwrotnic i sygnarów, przy sterowaniu zwrotnic ze stanowiska lokomotywy, plan schematyczny układu torowego uzyska postać przedstawioną na rys. 4.

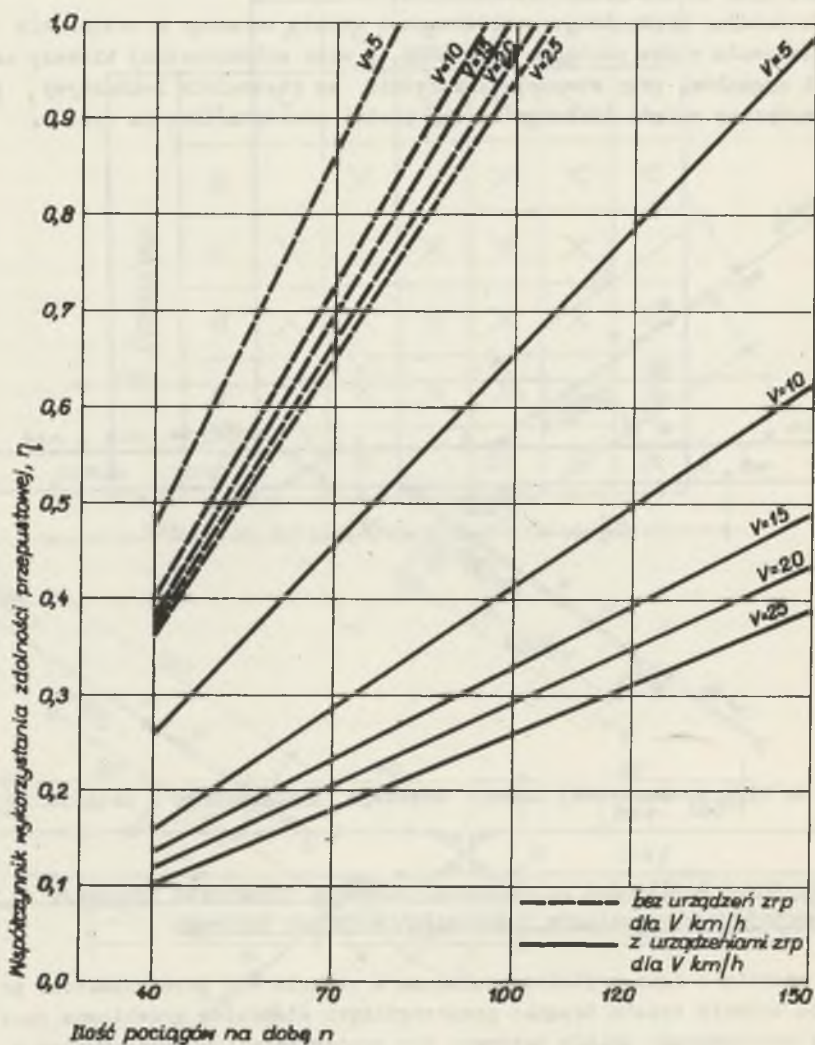


Rys. 4. Plan schematyczny układu torowego wyposażonego w urządzenia zrp

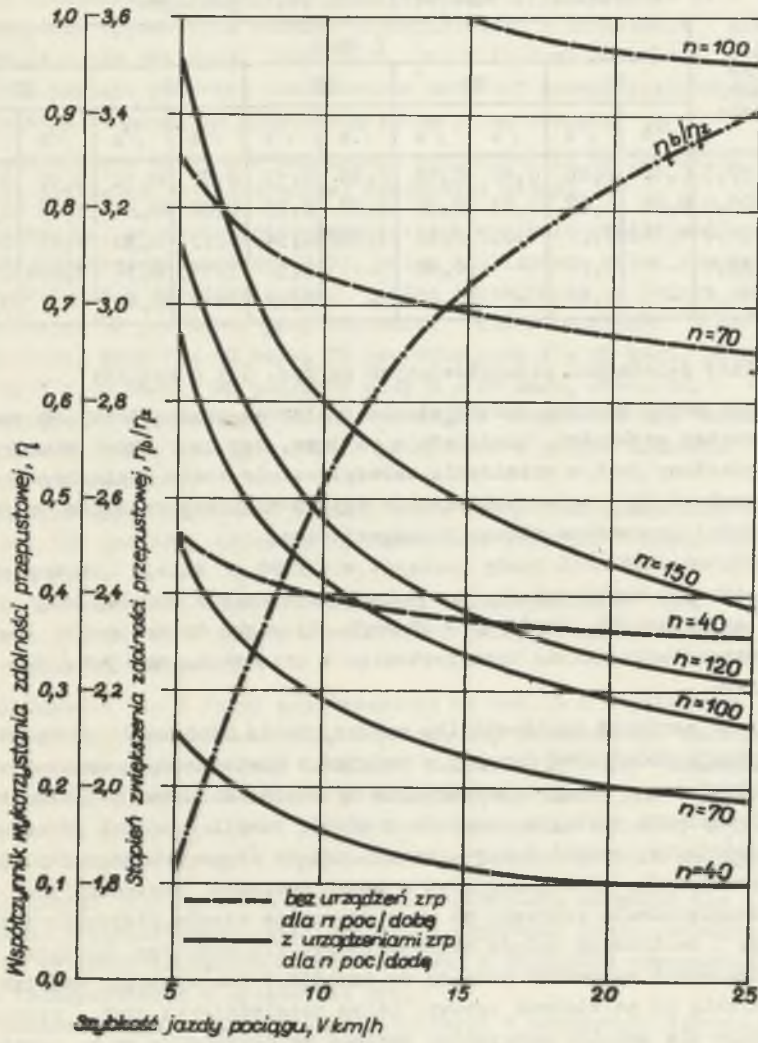
6. Zależność możliwości przewozowych głównego transportu szynowego od parametrów ruchu pociągów i wyposażenia układu torowego

W oparciu o dane wyjściowe założone w punkcie 4,0 przeprowadzone przez autora badania czasów trwania poszczególnych elementów przebiegów oraz o plany schematyczne układu torowego bez wyposażenia i z wyposażeniem w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów (rys. 3 i 4) obliczono wartości współczynnika wykorzystania zdolności przepustowej η dla analizowanego układu torowego, zestawione w tabl. 1.

Na rys. 5 przedstawiono zależności współczynnika wykorzystania zdolności przepustowej η od szybkości jazdy i natężenia ruchu pociągów, bez wyposażenia i z wyposażeniem układu torowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów, a na rys. 6 przedstawiono zależności η_0 , η_z i η_0/η_z od szybkości jazdy i natężenia ruchu pociągów.



Rys. 5. Wykresy zależności η od szybkości jazdy i natężenia ruchu pociągów, bez wyposażenia i z wyposażeniem układu torowego w urządzenia zrp



Rys. 6. Wykresy zależności η_b , η_z i η_b/η_z od szybkości jazdy i natężenia ruchu pociągów

Tablica 1

Zestawienie współczynników wykorzystania zdolności przepustowej układu torowego, bez wyposażenia i z wyposażeniem w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów

N poc/ dobę	N _{kr} poc/ dobę	V km/h									
		5		10		15		20		20	
		η_b	η_z	η_b	η_z	η_b	η_z	η_b	η_z	η_b	η_z
50	57,5	0,47	0,26	0,40	0,16	0,38	0,13	0,37	0,12	0,36	0,10
70	105,0	0,86	0,47	0,73	0,29	0,70	0,23	0,68	0,21	0,65	0,19
100	151,0	1,242	0,67	1,052	0,42	1,006	0,34	0,97	0,30	0,95	0,27
120	173,0	-	0,77	-	0,48	-	0,38	1,115	0,34	1,098	0,31
150	218,4	-	0,97	-	0,61	-	0,49	-	0,44	-	0,31

Z analizy zależności przedstawionych na rys. 5 i 6 wynika:

1. Wielkość współczynnika wykorzystania zdolności przepustowej η maleje ze wzrostem szybkości, niezależnie od tego, czy dany układ transportowy wyposażony jest w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów, czy jest bez urządzeń zrp, zatem zwiększenie szybkości jazdy pociągów poprawia możliwości przewozowe układu transportowego.
2. Ze wzrostem szybkości jazdy pociągów wielkość η maleje intensywniej przy niższych szybkościach, do 15 km/h oraz maleje wolniej przy wyższych szybkościach, rzędu 20 - 25 km/h. Zjawisko to występuje zarówno przy wyposażeniu układu transportowego w urządzenia zrp jak i bez urządzeń zrp.
3. Obliczone wartości współczynnika wykorzystania zdolności przepustowej η wymagają dodatkowej korekty w związku z koniecznością zarezerwowania części czasu pracy transportu na usunięcie skutków opóźnień pociągów. Opóźnienie pociągów powstałe z powodu awarii urządzeń prowadzenia ruchu pociągów, awarii taboru, awarii układu transportowego itp. powodują powstawanie nieregularności w ruchu pociągów. Konieczne jest również uwzględnienie poprawki na skoordynowanie czasów przyjazdu jednego pociągu i zwolnienia układu transportowego dla drugiego pociągu, na skoordynowanie gotowości pociągu do odjazdu z rzeczywistą możliwością wyprawienia go na odcinek torowy. Celem uwzględnienia tych czynników proponuje się ustalić maksymalną wartość współczynnika η w zakresie 0,75 ÷ 0,80.
4. Przy wyposażeniu układu transportowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów wahania wartości η w poszczególnych przedziałach szybkości są większe aniżeli w przypadku niewyposażenia w urządzenia zrp.
5. Zwiększenie szybkości jazdy powyżej 20 km/h minimalnie poprawia możliwości przewozowe układu transportowego, zarówno przy wyposażeniu w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów jak i bez wyposażenia.

6. Zwiększenie natężenia ruchu pociągów wpływa na wzrost wielkości η .
7. Przy zwiększonych zadaniach przewozowych zwiększenie szybkości jazdy pociągów lub zwiększenie ładowności składów nie jest wystarczające dla wykonania nałożonych zadań przewozowych. Niezbędne jest w tym przypadku wyposażenie układów transportowych w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów. Zależności $\eta = f(n, v, w)$ pozwalają określić, kiedy nastąpi potrzeba zastosowania urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów dla wykonania nałożonych zadań przewozowych.
8. Przedstawione na rys. 6 zależności współczynnika η pozwalają określić wielkości η dla dowolnej ładowności składu.
9. Zakładając, że ze względów praktycznych wielkość współczynnika η nie może przekroczyć wartości 0,75, przez analizowany układ torowy, bez wyposażenia w urządzenia zrp, można przepuścić w jednym kierunku zbiorczym 62 poc/dobę, przy szybkości ruchu pociągów 5 km/h, 71 poc/dobę, przy $V = 10$ km/h, 75 poc/dobę przy $V = 15$ km/h, 78 poc/dobę, przy $V = 20$ km/h i 80 poc/dobę przy $B = 25$ km/h, /rys. 6/.
W przypadku wyposażenia układu torowego w urządzenia zrp można przy szybkości ruchu pociągów 5 km/h przepuścić w jednym kierunku zbiorczym 116 poc/dobę,
Natomiast przy szybkości 10 km/h można przepuścić maksymalną założoną ilość 150 poc/dobę uzyskując jednocześnie wielkość współczynnika η równą 0,61.
Przy szybkościach większych wartości współczynnika η będą odpowiednio mniejsze, co świadczy o możliwości przepuszczenia większej liczby pociągów od założonej.
10. Zależności $\eta = f(n, w)$ przedstawione na rys. 5 i 6 pozwalają ustalić, dla danego układu transportowego, czy przewidziane zadania przewozowe można wykonać przy ustalonej technologii pracy transportu, czy też należy wykonać dodatkowe przedsięwzięcia takie jak: zwiększenie szybkości jazdy pociągów, zwiększenie ładowności składów, wyposażenie układu transportowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów itp.
11. Zależności $\eta_b / \eta_z = f(V, n)$ - rys. 6 pozwalają określić dla danego układu transportowego, przy ustalonej szybkości jazdy pociągów, stopień zwiększenia zdolności przepustowej w przypadku wyposażenia układu transportowego w urządzenia zrp.
Wyposażenie analizowanego układu torowego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów pozwoli przy szybkościach ruchu pociągów 5 - 25 km/h zwiększyć możliwości przewozowe układu torowego 1,81 - 3,42 raza.
12. Wzrost zależności $\eta_b / \eta_z = f(V, n)$, określającej praktycznie zwiększenie możliwości przewozowych układu transportowego jest bardziej intensywny przy niższych szybkościach ruchu pociągów, do wielkości rzędu 15 km/h.

7. Wnioski

1. Zwiększenie możliwości przewozowych głównego transportu szynowego można uzyskać nie tylko przez dokonanie takich przedsięwzięć jak: zastosowanie silniejszych lokomotyw, zastosowanie wozów o większej pojemności, zwiększenie szybkości jazdy i ładowności składów pociągowych, lecz również przez zastosowanie urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów.
2. Potrzeba zastosowania urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów jako czynnika umożliwiającego wykonanie zwiększonych zadań przewozowych wynika przede wszystkim z tego powodu, że zwiększenie szybkości jazdy pociągów powyżej wielkości charakterystycznej dla danego układu transportowego nie daje praktycznego zwiększenia możliwości przewozowych. Podobnie i ładowność składu pociągu nie może być dowolnie zwiększona ze względu na ograniczenia długości składu i przekrojów dróg przewozowych.
3. Urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów są elementem najefektywniej zwiększającym możliwości przewozowe układu transportowego w porównaniu z innymi przedsięwzięciami zwiększania możliwości przewozowych. Zastosowanie urządzeń zabezpieczenia ruchu pociągów powoduje zwiększenie możliwości przewozowych układu transportowego, zależnie od układu torowego, szybkości jazdy i natężenia ruchu pociągów, w przypadkach analizowanych przez autora, od 1,26 do 3,42 raza w stosunku do układu transportowego nie wyposażonego w urządzenia zabezpieczenia ruchu pociągów.

LITERATURA

- [1] Potthoff G.: Verkehrsströmungslehre. Bd. I. Berlin 1962.
- [2] Potthoff G.: Die Bedienungstheorie im Verkehrswesen. Berlin 1965.
- [3] Seweryn B.: Automatyzacja przewozu szynowego w kopalni a dyspozycja centralna w przewozie szynowym. Materiały Międzynarodowej Konferencji Automatyzacji Górnictwa. Kraków 1969.
- [4] Seweryn B.: Badanie wpływu zabezpieczeń ruchu pociągów na przelotowość podziemnej kolei kopalnianej. Praca doktorska. Gliwice 1973. (dostępna w Bibliotece Głównej Politechniki Śląskiej).

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ДВИЖЕНИЕ ПОЕЗДОВ, НА ОТКАТОЧНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОДЗЕМНОГО РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Резюме

В статье проанализировано воздействие устройств, обеспечивающих движение поездов, на откаточные возможности главного рельсового транспорта, а также проанализирована перевозная способность главного рельсового транспорта с устройствами, обеспечивающими движение поездов и без таких устройств.

Технико-транспортные результаты, получаемые при использовании устройств, обеспечивающих движение поездов, определяются скоростью движения поездов, интенсивностью движения и системой путей. Представленный в статье метод установления перевозных возможностей главного рельсового транспорта позволяет определить пропускную способность транспортных систем и одновременно определить резервы перевоза в случае увеличения скорости движения поездов или увеличения грузоподъемности системы.

**ANALYSIS OF SAFETY DEVICES INFLUENCE IN TRAINS TRAFFIC,
ON THE TRANSPORT POSSIBILITIES OF AN UNDERGROUND RAIL TRANSPORT**

S u m m a r y

The author has made an analysis in this paper of safety devices influence in trains traffic, on the rail transport possibilities. An analysis of transport possibilities of the main rail transport without the safety devices and those equipped with them, has been presented too. Technical-traffic effects obtained by safety devices application were presented as dependent on the speed of trains, traffic volume and tracks network.

A method of establishing transport possibilities of the main rail transport makes it possible to determine the trains flow capacity and at the same to determine redundancies in transport possibilities in case of higher trains speed or of loading increase.