

Miroslaw Wnuk

# Wyznaczenie jazdy optymalnej pociągu na odcinku z ograniczeniem prędkości

**Ograniczenie prędkości pociągu dla danej prędkości technicznej na odcinku  $s_k$  powoduje zwiększenie zużycia energii. Jazda pociągu z ograniczeniem prędkości powoduje, że wokół rozwiązania optymalnego występuje bardzo dużo rozwiązań z minimum lokalnym. Ponieważ procedura optymalizacyjna wyznacza minimum funkcjonatu, które nie musi być minimum globalnym, stąd trudność przy wyznaczaniu jazdy optymalnej. W artykule wykazano, że miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości ma stosunkowo niewielki wpływ na wielkość zużycia energii. Przejęcie określonego miejsca wystąpienia zakłócenia bardzo ułatwia wyznaczenie jazdy optymalnej, ponieważ umożliwia to przygotowanie dobrego punktu startowego. Rozwiązanie takie obciążone będzie pewnym błędem, który może być niekiedy mniejszy niż wyznaczenie jazdy dla zakłócenia w dowolnym miejscu na odcinku.**

## Jazda pociągu z ograniczeniem prędkości

Prawie każde ograniczenie prędkości na odcinku powoduje zwiększenie zużycia energii dla danej prędkości technicznej pociągu. Ograniczenia prędkości występują najczęściej w przypadku wykonywania prac torowych, prac konserwacyjnych oraz w przypadku wystąpienia zakłóceń w ruchu pociągów. Skoro zakłócenia w ruchu pociągów powodują zwiększenie zużycia energii, to należy zbadać, w jaki sposób te zakłócenia wpływają na dobór parametrów pojazdu trakcyjnego do danego zadania przewozowego. W związku z tym należy dokonać optymalizacji jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości w zależności od wielkości i miejsca wystąpienia tych ograniczeń oraz prędkości technicznej pociągu. Ponieważ każdy proces przewozowy nie może być traktowany jako proces zdeterminowany, lecz powinien być traktowany jako proces probabilistyczny, w którym wielkości nieznane należy traktować jako realizacje zmiennych losowych w sensie rachunku prawdopodobieństwa [1,5]. Zarówno planowane ograniczenia prędkości, jak i ograniczenia wynikające z zakłóceń w ruchu pociągów powinny być opisane za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa. Następnie dla tak opisanych rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń w ruchu pociągów należy wyznaczyć jazdy optymalne pociągów w zależności od masy i prędkości technicznej pociągu. Dopiero na podstawie tak wyznaczonych jazd optymalnych można dobrać pojazd trakcyjny do danego zadania przewozowego. Dobranie pojazdu trakcyjnego do danego zadania przewozowego w warunkach istniejących ograniczeń prędkości jest zagadnieniem złożonym i wymaga opracowania zupełnie nowej metody postępowania. Przy czym podstawowym narzędziem wymienionej metody będzie optymalizacja jazdy pociągu na odcinku w zależności od wielkości i miejsca wystąpienia ograniczenia prędkości oraz masy i prędkości technicznej pociągu na odcinku. W artykule przedstawiono optymalizację jazdy z ograniczeniem prędkości dla parametrów ruchu (2).

Optymalizacji jazdy pociągu na odcinku  $s_k$  z ograniczeniem prędkości dokonano ze względu na zużycie energii całkowitej [9]. Jazda z ograniczeniem prędkości zasadniczo różni się od jazdy bez takiego ograniczenia. Odcinek  $s_k$  podzielono na trzy przedziały w następujący sposób:

$$\begin{aligned} s_a &= s_1 - s_p \\ s_b &= s_2 - s_1 \\ s_c &= s_k + s_p - s \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

- $s_1$  – współrzędna drogi początku ograniczenia prędkości,
- $s_2$  – współrzędna drogi końca ograniczenia prędkości,
- $s_p$  – droga początkowa,
- $s_k$  – długość odcinka,
- $s_b$  – długość przedziału ograniczenia prędkości.

W przedziale  $s_b$  występuje ograniczenie prędkości pociągu, prędkość w przedziale  $s_b$  nie może być większa od prędkości  $v_1$ . Na rysunku 1 wykres jazdy pociągu na odcinku  $s_k$  bez ograniczenia prędkości oznaczono nr 20, natomiast wykres jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości oznaczono nr 1. Jazdy te wykonano dla następujących parametrów ruchu:

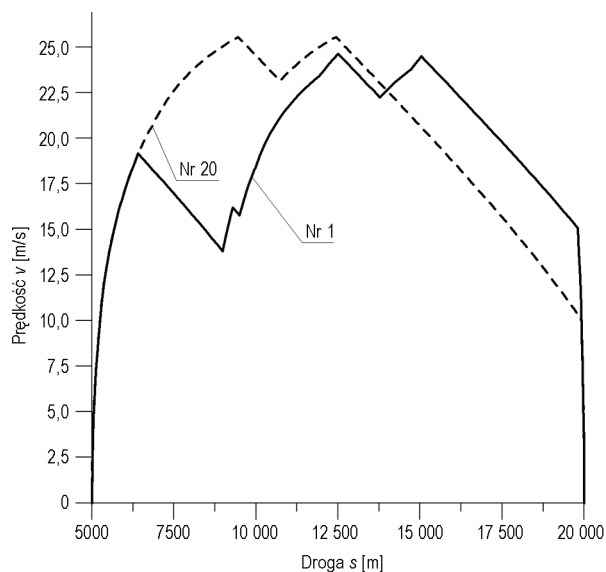
- długość odcinka  $s_k = 15\ 000$  m,
- prędkość techniczna pociągu  $v_t = 18$  m/s,
- moc godzinna pojazdu trakcyjnego  $P_h = 2000$  kW,
- prędkość maksymalna pojazdu trakcyjnego  $v_m = 30$  m/s,
- masa składu wagonów  $m_w = 16 \cdot 50 = 800$  t,
- współrzędna drogi początkowej  $s_p = 5000$  m,
- współrzędna drogi początku ograniczenia prędkości  $s_1 = 9000$  m,
- współrzędna drogi końca ograniczenia prędkości  $s_2 = 9500$  m,
- ograniczenie prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s, 13,7 m/s, 11,2 m/s;
- prędkość początkowa i końcowa  $v_p = v_k = 0$ .

Na rysunku 1 przedstawiono wykres jazdy pociągu nr 1 z ograniczeniem prędkości występującym w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m, prędkość pociągu w przedziale  $s_b$  nie może przekroczyć prędkości  $v \leq 16,2$  m/s. Następnie dla porównania wykonano kilka jazd dla tych samych parametrów ruchu (2), lecz dla różnych punktów startowych, w wyniku uzyskano osiem jazd pociągów różnych od jazdy optymalnej. Do parametrów ruchu pociągu zaliczamy największą prędkość pociągu w danym przedziale, drogę jazdy pod prądem, jazdę z wybiegu oraz drogę początku hamowania. Zadaniem procedury optymalizacyjnej jest dobranie takich wartości parametrów ruchu, aby zużycie energii było optymalne. Okazuje się, że punkt startowy ma duży wpływ na znalezienie ekstremum funkcjonatu; w rezultacie uzyskano osiem różnych rozwiązań, które miały minima lokalne. Jazdę z minimalnym zużyciem energii przyjęto jako rozwiązanie optymalne. W tabeli 1 przedstawiono wyniki tych jazd oraz dla porównania jazdę bez ograniczenia prędkości.

Tabela 1

**Zestawienie jazd pociągów oznaczonych nr 1–8 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s oraz jazdy nr 20 bez ograniczenia prędkości**

	Numer jazdy								
	1	2	3	4	5	6	7	8	20
$j$ [Wh/btkm]	18,48	18,29	18,81	18,63	17,95	18,11	18,90	18,45	16,59
$\Delta j$ [%]	2,95	1,89	4,79	3,79	0,00	0,89	5,29	2,79	-7,58

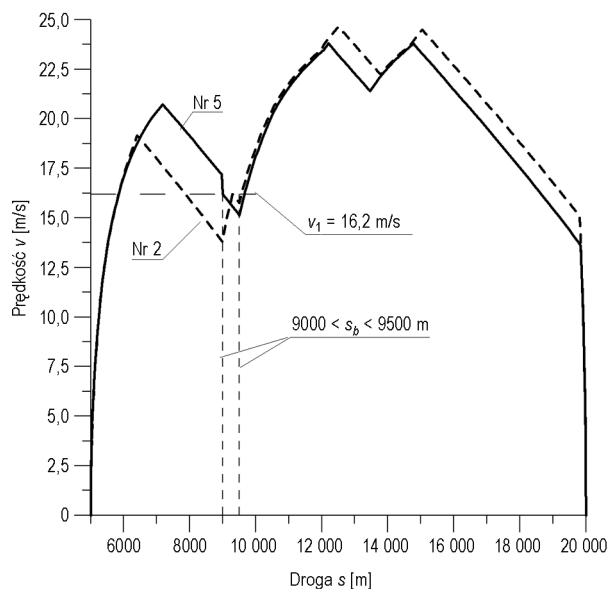


Rys. 1. Wykres jazdy pociągu bez ograniczenia prędkości oznaczono nr 20, natomiast wykres jazdy z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m, oznaczono nr 1

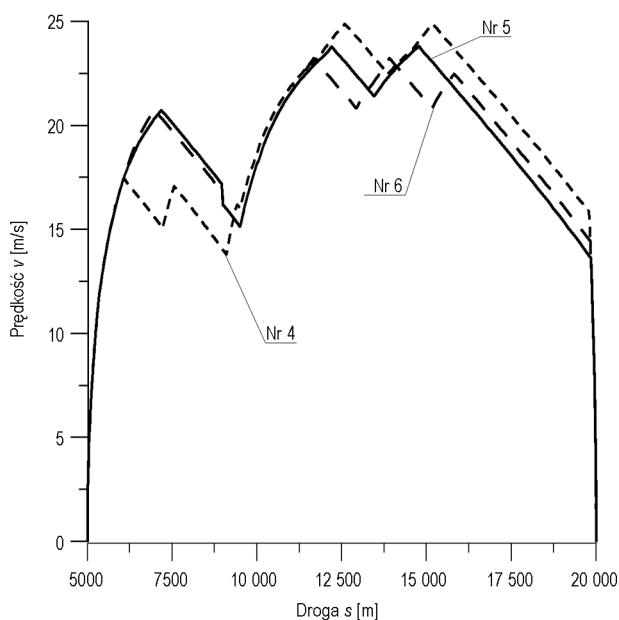
Na rysunku 2 przedstawiono wykresy jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości, które oznaczono odpowiednio nr 5 i 2. Jazda oznaczona nr 5 przyjęta została jako jazda z minimalnym zużyciem energii. Pomimo że wykresy jazd pociągów są różne, to jednostkowe zużycie energii różni się zaledwie o 0,34 Wh/btkm. Z wyników zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że wyznaczenie jazdy optymalnej pociągu z ograniczeniem prędkości wymaga dobrania w sposób wyjątkowo staranny punktu startowego. W przeciwnym przypadku program może wyznaczyć najbliższe minimum lokalne, które może się dość znacznie różnić od minimum globalnego. Jazda z miejscowym ograniczeniem prędkości ma o wiele więcej możliwości realizacji, niż jazda bez takiego ograniczenia. Stąd wynikają trudności przy wyznaczaniu sterowania optymalnego jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości.

Na rysunku 3 przedstawiono wykres jazdy pociągu na odcinku  $s_k$  z minimalnym zużyciem energii oznaczonej nr 5 oraz jazdy z minimum lokalnym oznaczone nr 4 i 6. Wykres jazdy oznaczonej nr 4 znacznie różni się od wykresu jazdy nr 5. Jednostkowe zużycie energii dla jazdy oznaczonej nr 4 jest większe o 0,68 Wh/btkm. Podobnie wykres jazdy oznaczonej nr 6 różni się od wykresu jazdy nr 5, pomimo tego jednostkowe zużycie energii jest większe zaledwie o 0,18 Wh/btkm. Stąd wniosek, że jazda pociągu z miejscowym ograniczeniem prędkości najczęściej ma wiele takich rozwiązań, które są bliskie rozwiązania optymalnego. Natomiast jazdy pociągów oznaczone nr 1, 2, 3 i 4 na

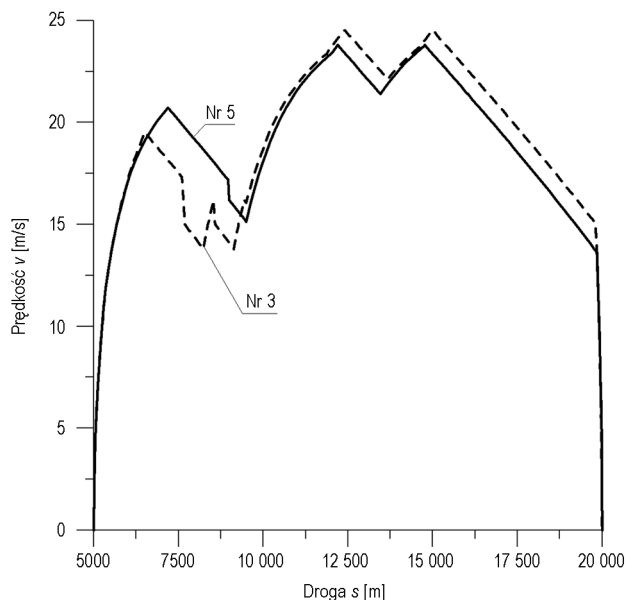
odcinku  $s_k$  mają zużycie energii większe od zużycia minimalnego odpowiednio o 2,95; 1,89; 4,79 i 3,79%. Pomimo tego, że poszczególne wykresy jazd w niewielkim stopniu różnią się od wykresu jazdy z minimalnym zużyciem energii, to zużycie energii na odcinku  $s_k$  dla pozostałych jazd może być większe od 2 do 5%. Różnice w zużyciu energii dla poszczególnych jazd można uznać za stosunkowo niewielkie, jednak takie różnice są niedopuszczalne przy wyznaczaniu parametrów optymalnych pojazdu trakcyjnego, ponieważ mogą prowadzić do uzyskania błędnych wyników. Dlatego optymalizacja jazdy z ograniczeniem prędkości powinna być wyjątkowo starannie wyznaczona.



Rys. 2. Wykresy jazd pociągów oznaczonych nr 2 i 5 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m



Rys. 3. Wykresy jazdy pociągów oznaczone nr 4, 5, 6 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m



Rys. 4. Wykresy jazdy pociągów oznaczone nr 3 i 5 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m

### Wpływ ograniczenia prędkości na zużycie energii

Przedstawione zostaną jazdy pociągu na odcinku  $s_k$  z ograniczeniem prędkości w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m. Jazdy wykonano dla parametrów ruchu (2) z ograniczeniem prędkości odpowiednio:  $v_1 = 11,2; 13,7; 16,2$  m/s. Na rysunku 5 przedstawiono wykresy jazdy pociągu w przedziale  $s_b$  z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 11,2$  m/s. Wykonano trzy jazdy oznaczone nr 9, 10 i 11, wyniki tych jazd przedstawiono w tabeli 2. Ekstremalną jazdę pociągu nr 11 zaznaczono na rysunku 5 linią ciągłą.

Tabela 2

### Zestawienie jazd pociągów z ograniczeniem prędkości $v_1 = 11,2$ m/s

	Numer jazdy		
	9	10	11
$j$ [Wh/btkm]	20,96	21,23	20,73
$\Delta j$ [%]	1,11	2,41	0,00

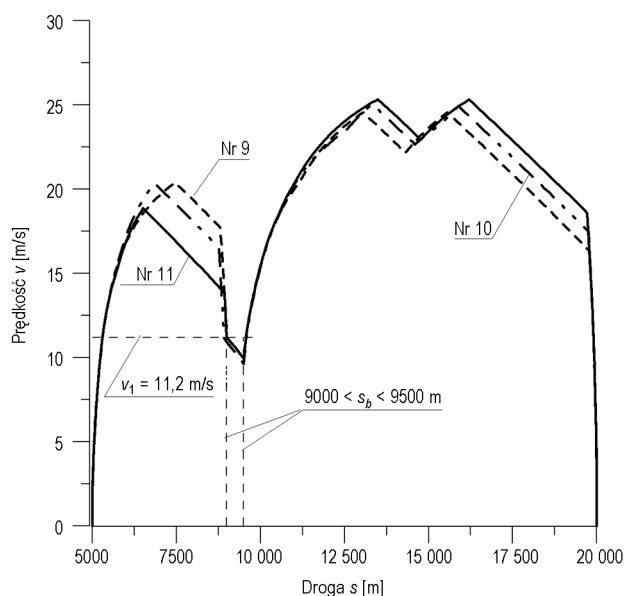
Tabela 3

### Zestawienie jazd pociągów z ograniczeniem prędkości $v_1 = 13,7$ m/s

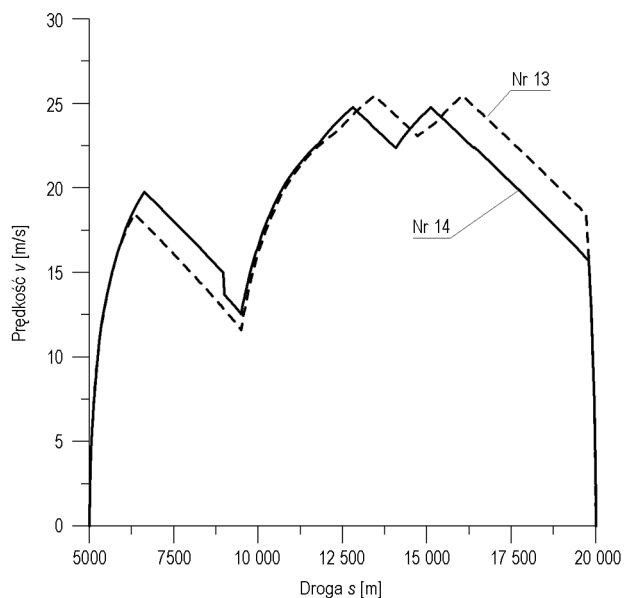
	Numer jazdy				
	12	13	14	15	16
$j$ [Wh/btkm]	19,69	19,88	19,03	19,97	20,13
$\Delta j$ [%]	3,47	4,47	0,00	4,94	5,78

Następnie wykonano pięć jazd na odcinku  $s_k$ , dla takich samych parametrów ruchu (2), lecz dla ograniczenia prędkości  $v_1 = 13,7$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m. Jazdy te oznaczono kolejno numerami 12, 13, 14, 15 i 16. Na rysunku 7 przedstawiono wykres jazdy optymalnej pociągu oznaczonej nr 14 i dla porównania wykresy jazd oznaczone nr 15 i 16. Wykresy jazd oznaczone nr 15 i 16 niewiele różnią się między sobą,

występuje jednak różnica w zużyciu energii. Wyniki jazd oznaczone numerami 12–16 przedstawiono w tabeli 3. W tabeli 4 przedstawiono wyniki trzech jazd optymalnych z miejscowym ograniczeniem prędkości i z jedną jazdą optymalną bez ograniczenia prędkości.

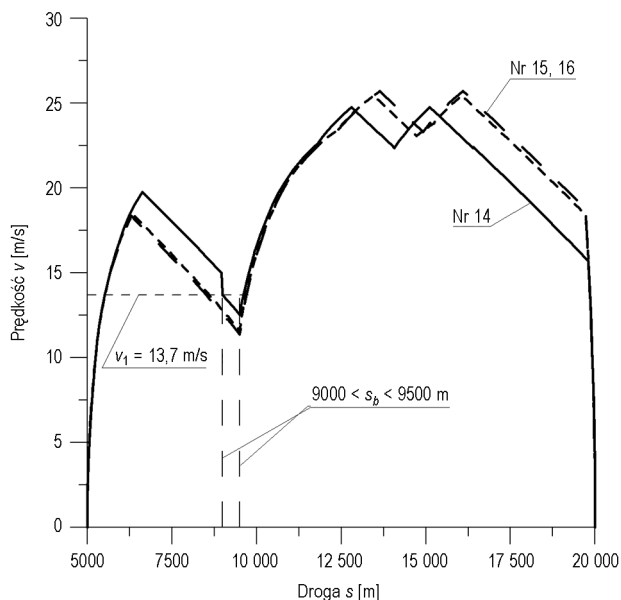


Rys. 5. Wykresy jazdy pociągów oznaczone numerami nr 9, 10 i 11 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 11,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m

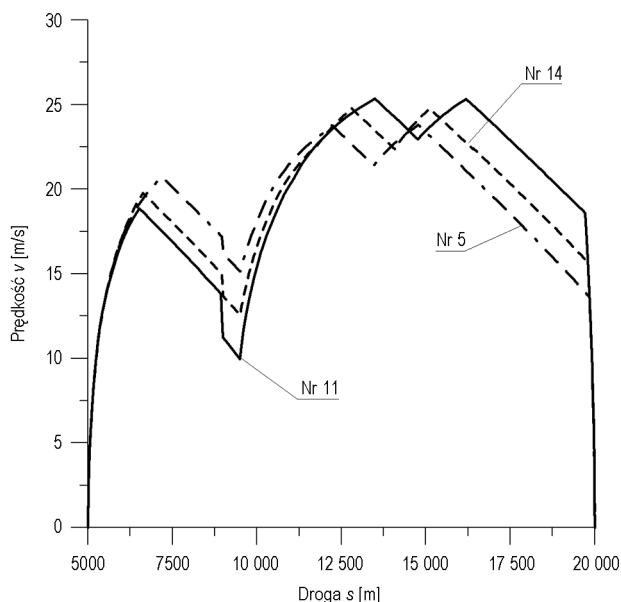


Rys. 6. Wykresy jazdy pociągów oznaczone nr 13 i 14 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 13,7$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m

Na rysunku 8 przedstawiono trzy jazdy optymalne na odcinku  $s_k$  z ograniczeniem prędkości, wykonane dla warunków ruchu (2). Jazdy te wykonano dla następującego ograniczenia prędkości: jazda nr 5 dla  $v_1 = 16,2$  m/s, jazda nr 14 dla  $v_1 = 13,7$  m/s, jazda nr 11 dla  $v_1 = 11,2$  m/s.



Rys. 7. Wykresy jazdy pociągów oznaczone nr 14, 15 i 16 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 13,7$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m



Rys. 8. Wykresy optymalnych jazd pociągów oznaczone nr 5, 14 i 11 z ograniczeniem prędkości odpowiednio  $v_1 = 16,2; 13,7; 11,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m

Tabela 4

### Optymalne jazdy pociągu dla różnych ograniczeń prędkości

	Numer jazdy			
	5	14	11	20
$v_1$ [m/s]	16,20	13,70	11,20	30,00
$j$ [Wh/btkm]	17,95	19,03	20,73	16,59
$\Delta j$ [%]	8,20	14,71	24,95	0,00

Wyniki jazd pociągu na odcinku  $s_k$  z ograniczeniem prędkości zamieszczone w tabeli 4 świadczą o tym, że niemal każde ograni-

czenie prędkości na odcinku powoduje zwiększenie zużycia energii, które dla jazdy z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 11,2$  m/s w przedziale  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m wynosi prawie 25% w stosunku do jazdy bez ograniczenia prędkości. Należy zatem odpowiedzieć na pytanie, jaki wpływ na wielkość zużycia energii ma miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości?

### Wpływ miejsca wystąpienia ograniczenia prędkości pociągu na zużycie energii

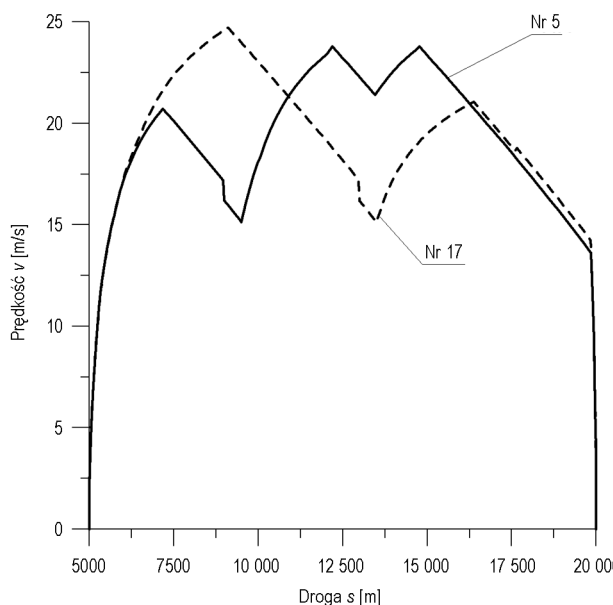
W celu zbadania, jaki wpływ ma miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości na zużycie energii wykonano kilka jazd pociągów na odcinku  $s_k$  dla warunków ruchu (2) z ograniczeniem prędkości w różnych miejscach odcinka.

Tabela 5

### Zestawienie jazd dla różnych ograniczeń prędkości i miejsc wystąpienia tych ograniczeń

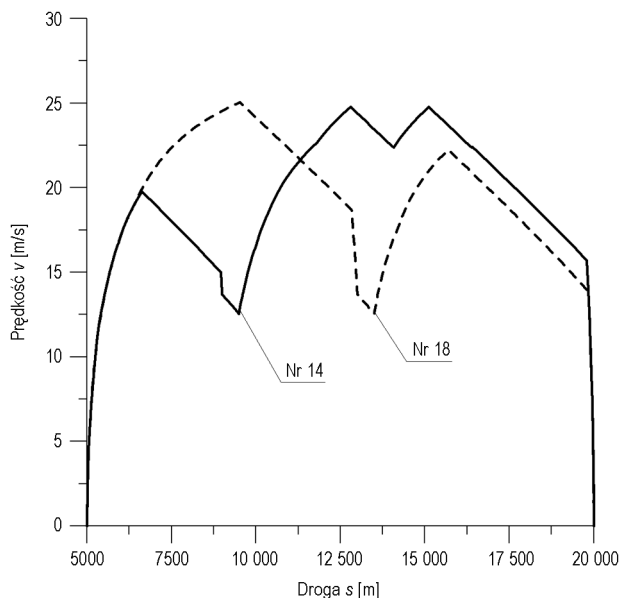
	Przedział drogi [m]					
	$9000 \leq s_b \leq 9500$			$13\ 000 \leq s_b \leq 13\ 500$		
	Numer jazdy					
	5	14	11	17	18	19
$j$ [Wh/btkm]	17,95	19,03	20,73	18,05	19,74	21,19
$v_1$ [m/s]	16,20	13,70	11,20	16,20	13,70	11,20
$ \Delta j $ [%]	0,55	3,60	2,17	0,55	3,60	2,17

$$|\Delta j| = \frac{j_{s_b^r} - j_{s_b}}{j_{s_b^r}} \cdot 100 [\%]$$

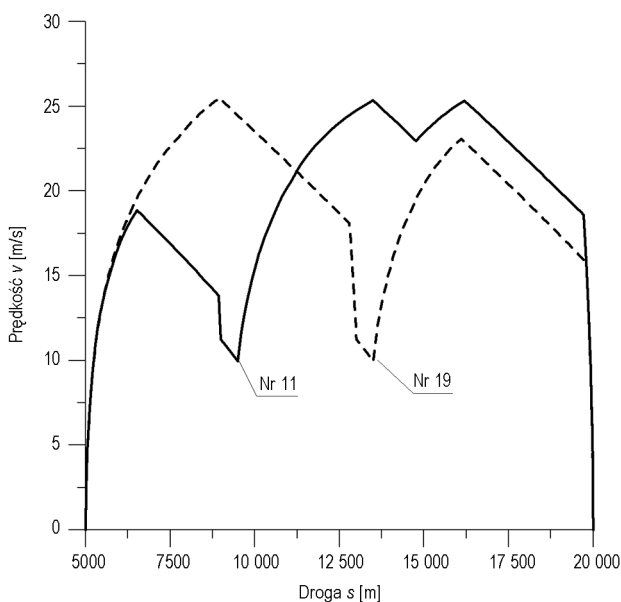


Rys. 9. Wykresy optymalnych jazd pociągów oznaczone nr 5 i 17 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 16,2$  m/s w przedziałach  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m oraz  $13\ 000 \leq s_b \leq 13\ 500$  m

W tabeli 5 przedstawiono wyniki optymalnych jazd pociągu na odcinku  $s_k$  z ograniczeniem prędkości odpowiednio  $v_1 = 16,2; 13,7; 11,2$  m/s w przedziałach  $9000 \leq s_b \leq 9500$  m oraz  $13\ 000 \leq s_b \leq 13\ 500$  m. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że miejsce, w którym wystąpiło ograniczenie prędkości na odcinku  $s_k$  ma stosunkowo niewielki wpływ na wielkość zużycia energii.



Rys. 10. Wykresy optymalnych jazd pociągu oznaczono nr 14 i 18 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 13,7 \text{ m/s}$  w przedziałach  $9000 \leq s_b \leq 9500 \text{ m}$  oraz  $13\ 000 \leq s_b \leq 13\ 500 \text{ m}$



Rys. 11. Wykresy optymalnych jazd pociągu oznaczonych nr 11 i 19 z ograniczeniem prędkości  $v_1 = 11,2 \text{ m/s}$  w przedziałach  $9000 \leq s_b \leq 9500 \text{ m}$  oraz  $13\ 000 \leq s_b \leq 13\ 500 \text{ m}$

Przyrost zużycia energii dla ograniczenia prędkości  $v_1$  w miejscu wystąpienia ograniczenia  $s_b'$  i  $s_b''$  wynosi odpowiednio:

$$v_1 = 16,2 \text{ m/s}; |\Delta j| = 0,55\%$$

$$v_1 = 13,7 \text{ m/s}; |\Delta j| = 3,6\%$$

$$v_1 = 11,2 \text{ m/s}; |\Delta j| = 2,17\%$$

Na podstawie tych wyników trudno jest w sposób jednoznaczny określić, w jaki sposób miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości na odcinku i wielkość tego ograniczenia wpływają na wielkość zużycia energii. Zatem należy przeprowadzić dalsze badania w celu dokładnego określenia, jaki wpływ ma miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości na wielkość zużycia energii. Miejsce wystąpienia zakłócenia jest istotne przy symulacji ruchu pociągów na odcinku. Natomiast przy wyznaczaniu parametrów

pojazdu trakcyjnego do danych zadań przewozowych należy uwzględnić wszystkie jazdy, jakie wystąpią na danym odcinku. Jazdy bez ograniczenia prędkości, jazdy z planowanym ograniczeniem prędkości oraz jazdy z ograniczeniem prędkości w wyniku zakłóceń powstałych w ruchu pociągów. W przypadku, gdyby przyrost zużycia energii  $|\Delta j|$  dla jazdy optymalnej pociągu na odcinku  $s_k$  w zależności od miejsca wystąpienia ograniczenia prędkości będzie można pominąć przy wyznaczaniu parametrów pojazdu trakcyjnego, wówczas będzie możliwe przyjęcie do obliczeń dowolnego miejsca wystąpienia zakłócenia w ruchu pociągu i dla takiego miejsca będzie można określić odpowiedni punkt startowy w celu wyznaczenia jazdy optymalnej pociągu. Trudno jest określić punkty startowe dla każdego miejsca wystąpienia zakłócenia ruchu, ponieważ takich miejsc jest nieskończenie dużo na odcinku. Skoro miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości ma niewielki wpływ na wielkość zużycia energii, w związku z tym takie ograniczenie prędkości będzie można przyjąć praktycznie w dowolnym miejscu, co bardzo ułatwi rozwiązanie zadania przy wyznaczaniu parametrów pojazdu trakcyjnego do danego zadania przewozowego.

## Podsumowanie

Jazda z ograniczeniem prędkości na odcinku powoduje zwiększenie zużycia energii oraz ma wpływ na dobór parametrów pojazdu trakcyjnego do danych zadań przewozowych. Dlatego bardzo ważnym jest dokonanie optymalizacji jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości na odcinku. Przy wyznaczaniu jazdy napotykamy pewne trudności związane z optymalizacją, ponieważ jazda z ograniczeniem prędkości ma najczęściej dużą liczbę rozwiązań, które posiadają minima lokalne w pobliżu rozwiązania optymalnego, co bardzo utrudnia wyznaczenie optimum funkcjonatu. Wyznaczenie jazdy optymalnej pociągu w dużym stopniu zależy od punktu startowego. Jednym ze sposobów wyznaczenia takiej jazdy jest wykonanie wielu jazd dla różnych punktów startowych i wybranie jazdy, która ma najmniejsze zużycie energii. Taki sposób postępowania nie daje jednak pełnej gwarancji wyznaczenia jazdy optymalnej. Dlatego dużym ułatwieniem jest wyznaczenie takiej jazdy dla określonego miejsca wystąpienia ograniczenia prędkości, ponieważ jak wykazano w artykule, miejsce wystąpienia ograniczenia prędkości w niewielkim stopniu wpływa na wielkość zużycia energii. W związku z tym w pierwszym przybliżeniu można dokonać optymalizacji jazdy dla określonego miejsca wystąpienia ograniczenia prędkości, co bardzo ułatwia, a niekiedy wręcz umożliwia wyznaczenie jazdy optymalnej. Przy doborze pojazdu trakcyjnego do danego zadania przewozowego należy kierować się następującymi warunkami istniejącymi na danej linii:

- masą pociągu,
- prędkością techniczną,
- planowanymi ograniczeniami prędkości,
- zakłóceniami w ruchu pociągu,
- terminowością dostaw.

Dobranie w sposób prawidłowy pojazdu trakcyjnego oraz składu pociągu do danych parametrów ruchu jest zagadnieniem złożonym i nie można tego dokonać za pomocą dotychczas stosowanych metod. Należy opracować zupełnie nową metodę postępowania przy doborze pojazdu trakcyjnego do danego zadania przewozowego, ponieważ każdy proces transportowy należy opisać za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa oraz określić gęstość prawdopodobieństwa mas pociągów, które występują

w analizowanym przedziale czasu. W tym celu zbiór pociągów należy podzielić na przedziały w taki sposób, aby średnia masa składu wagonów w każdym przedziale była stała. Następnie dla tak określonych przedziałów należy określić prawdopodobieństwo lub częstość występowania danej masy wagonów. Następnie należy wyznaczyć współczynniki wagi, które są proporcjonalne do iloczynu masy i prawdopodobieństwa wystąpienia danej masy pociągu [8]. Funkcja kryterialna będzie równa sumie iloczynów współczynnika wagi i zużycia energii we wszystkich przedziałach wyznaczona dla poszczególnych jazd, jakie występują na danym odcinku. Do tych jazd zaliczamy jazdę bez ograniczenia prędkości, jazdę z planowanymi ograniczeniami prędkości oraz jazdę w warunkach zakłócenia ruchu pociągów. Przy czym należy określić rozkład prawdopodobieństwa zakłóceń, jakie występują na danym odcinku. Na ogół zakłócenie w ruchu powodują ograniczenia prędkości pociągu, stąd wniosek, że zakłócenie w ruchu pociągu można odwzorować przez wprowadzenie ograniczenia prędkości. A więc każdą jazdę pociągu na odcinku można odwzorować przez wprowadzone odpowiednie ograniczenia prędkości. Dlatego poświęcono tak wiele uwagi na prawidłowe dokonanie optymalizacji jazdy pociągu z ograniczeniem prędkości, ponieważ prawidłowe wyznaczenie jazdy optymalnej pociągu z ograniczeniem prędkości jest warunkiem koniecznym do wyznaczenia parametrów optymalnych pojazdu trakcyjnego. □

## Literatura

- [1] Bobrowski D.: *Probabilistyka w zastosowaniach technicznych*. WNT, Warszawa 1986.
- [2] Findeisen W., Szymanowski W., Wierzbicki A.: *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*. PWN Warszawa 1980.
- [3] Kręglewski T.: *Metody optymalizacyjne w języku FORTRAN*. PWN, Warszawa 1984.
- [4] Podoski J., Kacprzak J., Mystek J.: *Zasady trakcji elektrycznej*. WKŁ, Warszawa 1980.
- [5] Woch J.: *Kształtowanie płynności ruchu w gęstych sieciach transportowych*. PAN 1998.
- [6] Wnuk M.: *Metoda wyznaczania optymalnych parametrów składu pociągu*. Politechnika Śląska Wydział Elektryczny – rozprawa doktorska. Gliwice 08.01.2002.
- [7] Wnuk M.: *Metoda wyznaczania optymalnych parametrów pojazdu trakcyjnego na linii kolejowej*. X Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2002. Politechnika Krakowska, Zakopane 2002.
- [8] Wnuk M.: *Wyznaczenie parametrów optymalnych pojazdu trakcyjnego dla zmiennego zapewnienia składu pociągu*. 6 Międzynarodowa konferencja naukowa. Nowoczesna Trakcja Elektryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku MET'2003. Wydział Elektryczny PW, Sekcja Trakcji Komitetu elektrotechniki PAN, Polska sekcja IEE, Instytut Elektrotechniki Warszawa. Warszawa 2003.
- [9] Wnuk M.: *Optymalizacja jazdy pociągu na odcinku linii kolejowej*. Technika Transportu Szynowego 5-6/2011.

➤ *Dokończenie ze s. 53*

- [11] Kurdziel R.: *Podstawy Elektrotechniki*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
- [12] Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna *Problemy projektowania i budowa systemu zasilania sieci trakcyjnej Kolei Dużych Prędkości*. Materiały Konferencyjne, Krzyżowa, 19–21 listopada 2009 r.
- [13] Rostkowski W.: *Systemy zasilania trakcji elektrycznej prądu przemiennego 15 kV, 16,7 Hz*. Technika Transportu Szynowego 3/2006.
- [14] Sobczyk T.: *O pewnej obwodowej reprezentacji magnetycznie sprzężonych cewek*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Seminarium Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów”, IC- SPETO 2003, t.2.
- [15] Sobczyk T.J.: *MULTI-PORT EQUIVALENT SCHEME OF THREE-PHASE POWER TRANSFORMERS*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów IC- SPETO 2007.
- [16] Sobczyk T.J.: *Schematy zastępcze wielozwojennych transformatorów jednofazowych*. Warsaw University of Technology, Proc of Int. Conf. SME, 2004, pp. 452–456.
- [17] Szelaąg A., Mierzejewski L.: *Systemy zasilania linii kolejowych dużych prędkości jazdy*. Technika Transportu Szynowego 5-6/2005.

## Oznaczenia

$f$  [Hz] – częstotliwość,  
 $z$  – liczba zwojów uzwojenia badanego,  
 $\Phi_m$  [Wb] – amplituda strumienia magnetycznego,  
 $i, j$  – numer węzła wielowrotnikowego schematu zastępczego transformatora,  
 $L_i^z$  [H] – indukcyjność gałęzi poprzecznej wielowrotnikowego schematu zastępczego transformatora,  
 $L_{i,j}^z$  [H] – indukcyjność gałęzi podłużnej wielowrotnikowego schematu zastępczego transformatora,  
 $R_{Fe}$  [ $\Omega$ ] – opór związany ze stratami w żelazie transformatora,  
 $U_0$  [V] – wartość skuteczna przemiennego napięcia zasilania w stanie jałowym transformatora.

*Ireneusz Chrabąszcz,  
Marek Dudzik  
Janusz Prusak  
Politechnika Krakowska, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków*

## Włodzimierz Pijewski

1950–2011

30 lipca 2011 r. odszedł nagle Włodzimierz Pijewski – dyrektor Biura Taboru Spółki PKP Intercity S.A.

Urodził się w 26 października 1950 r. w Brwinowie. Był absolwentem Technikum Kolejowego w Warszawie i Politechniki Warszawskiej.



Posiadając gruntowne przygotowanie teoretyczne i praktyczne oraz cechując się wielką pracowitością i obowiązkowością z biegiem lat stał się wysoko cenionym specjalistą transportu kolejowego.

Nieobce było mu doświadczenie w pracy na stanowisku maszynisty, którym był w czasie zatrudnienia w Lokomotywni Warszawa Olszynka Grochowska.

Był wzorem kolejarza, który całe swoje pracowite życie poświęcił bez reszty kolei i kolejarzom, toteż zasłużenie cieszył się ich wielkim zaufaniem, szacunkiem i wdzięcznością. Był przy tym człowiekiem szlachetnym, prawym i skromnym.

Pracę na PKP rozpoczął w 15 października 1976 r. w Lokomotywni Warszawa Olszynka Grochowska.

Całe swoje bogate życie zawodowe związany był z transportem kolejowym, pracując na stanowiskach:

1976–1980	referendarz Lokomotywnia Warszawa Olszynka Grochowska,
1980–1982	kontroler DRKP Warszawa,
1983	p.o. kierownika Działu Zarząd Trakcji CDOKP w Warszawie,
1983–1988	starszy inspektor w Dyrekcji Generalnej PKP,
1988–1991	starszy specjalista w Dyrekcji Generalnej PKP,
1991–1996	naczelnik Wydziału w Naczelnym Zarządzie Taboru DG PKP,
1996–1997	dyrektor Biura Eksploatacji Taboru DG PKP,
1997–1998	zastępca naczelnego dyrektora ds. Eksploatacji w Dyrekcji Trakcji i Zaplecza Warsztatowego w Krakowie,
1998–2001	główny inspektor Bezpieczeństwa Ruchu Kolejowego PKP S.A.,
2001–2005	zastępca dyrektora Biura Eksploatacji i Rozwoju, główny inspektor Bezpieczeństwa Ruchu Kolejowego PKP S.A. Centrala,
2006–2010	główny inspektor Bezpieczeństwa Ruchu PKP PLK S.A. Centrala,
01.01–28.02.2011	zastępca dyrektora Biura Bezpieczeństwa PKP PLK S.A. Centrala
od 01.03.2011	dyrektor Biura Taboru PKP Intercity S.A.

Surowy i wymagający w stosunku do siebie, dla innych wyrozumiały i cierpliwy, zawsze chętny służyć swoim doświadczeniem, radą i pomocą. Był bardzo lubiany przez swoich współpracowników.

Miał liczne grono oddanych przyjaciół, wielu młodych Kolegów zawdzięcza Mu zdobycie praktycznej wiedzy kolejowej.

Odszedł niespodziewanie, zbyt wcześnie, w pełni sił zawodowych, zachowując do ostatnich chwil hart i pogodę ducha. Z Jego odejściem polska kolej i Spółka PKP Intercity S.A. poniosły wielką stratę.

Włodzimierz Pijewski pozostanie na zawsze w pamięci Tych, którzy Go znali i z Nim współpracowali.

*Przyjaciele*