

Emil BARON  
Mieczysław KOLEK  
Stefan MIETŁA

PROBLEMY WYBORU USTAWIANIA DWÓCH LOKOMOTYW PRZEWODOWYCH LEP-14T  
W SKŁADZIE POCIĄGU UROBKOWEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wpływ ustawienia lokomotyw w składzie pociągu dołowego na jego prawidłowe prowadzenie w ruchu. Obliczono dopuszczalne wartości sił dynamicznych w sprzęgach składu pociągu złożonego z lokomotyw Lep-14T i wozów Granby 5, z uwzględnieniem luzów sprzęgowych.

1. Wstęp

Podstawowym warunkiem prawidłowego prowadzenia pociągu w podziemiach kopalń jest niedopuszczenie do wykolejenia wozów. Dla określonych warunków ruchu i parametrów trasy przewozowej zagrożenie wykolejenia wozu rośnie wraz z siłą działającą w sprzęgu wozu. Większe zagrożenie wykolejenia wozu występuje podczas pchania lub hamowania rozpędzonego składu, szczególnie na łukach trasy przewozowej. Przepisy budowy i eksploatacji kopalnianych kolei podziemnych [4] w § 321, ust. 3 zastrzegają, że: "Prowadzenie ruchu pociągu z lokomotywą popychającą jest zabronione". Interpretując ust. 3 § 321 w kontekście całego rozdziału 4 części 4 ww. przepisów można uznać, że odnosi się on do pociągu z jedną lokomotywą. Można zatem przyjąć, że przy dwóch lokomotywach w składzie pociągu dopuszczalne jest popychanie części składu przez jedną z nich.

Przy wyborze lokomotyw w składzie pociągu należy kierować się względami: bezpieczeństwa, ruchowymi a także ekonomicznymi. Ruch pociągów powinien odbywać się bez manewrowania lokomotywami w składzie przy zapewnieniu dużej zdolności przewozowej. Skład pociągu powinien być tak dobrany, aby przy spełnieniu wyżej wymienionych warunków nie wykolejać wozów oraz aby droga hamowania składu do przewozu głównego była nie większa niż 80 m. Liczbę wozów i rozmieszczenie lokomotyw należy tak dobrać, aby we wszystkich punktach trasy mógł się odbywać ruch samodzielny składu, z uwzględnieniem cofania, manewrowania na łukach i w rejonie stacji załadunkowej.

## 2. Warunki prawidłowego prowadzenia ruchu pociągu

Zagrożenie wykolejenia wozu pojawia się w chwili zaniku styku kół jednej osi (lub kół jednego boku) z szynami na skutek niekorzystnego nałożenia się sił statycznych i dynamicznych działających na wóz. Dopuszczalne wartości sił działających w sprzęgach składu pociągu można określić z warunków:

- a) stateczności podłużnej wozu,
- b) stateczności poprzecznej wozu,
- c) stateczności wozu przeciw napełzaniu koła na szynę.

Stateczność ocenia się i mierzy za pośrednictwem współczynnika stateczności. Współczynnik stateczności podłużnej  $k_d$  i poprzecznej  $k_p$  można wyznaczyć ze stosunku odpowiednich momentów, ustalającego i wywracającego, działających na wóz. Współczynnik stateczności przeciw napełzaniu koła na szynę  $k_n$  podaje stosunek krytycznej siły osiowej do aktualnej wartości siły osiowej działającej na zestaw kołowy. Prawidłowe prowadzenie pociągu jest możliwe pod warunkiem, że wszystkie trzy współczynniki stateczności są większe od jedności. W przeciwnym przypadku dochodzi do wywrócenia lub wykolejenia wozu. Uwzględniając powyższe określenia, wyznaczono wzór na siłę graniczną  $F_p$  w sprzęgach wozu Granby 5 wynikającą z warunku stateczności poprzecznej [2]:

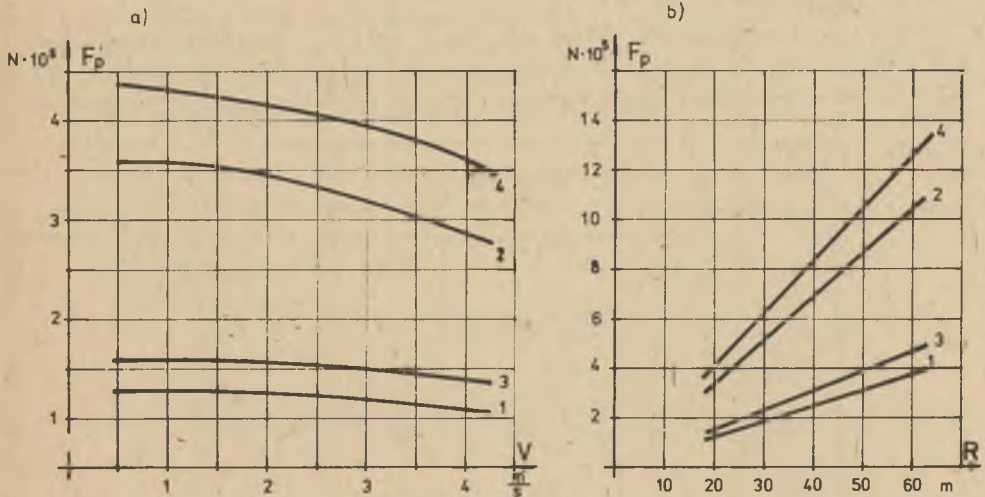
$$F_p < \frac{1}{2} \frac{\sqrt{4R^2 + L^2}}{(L + 1)h} \left[ G_w(0,5p - \Delta p) - F_o h_1 \right] \quad (1)$$

gdzie:

- $F_o$  - siła odśrodkowa działająca na środek masy wozu,
- $R$  - promień łuku toru,
- $L$  - długość wozu między sworzniami sprzęgów,
- $G_w$  - ciężar wozu ładownego lub pustego,
- $p$  - prześwit toru,
- $\Delta p$  - przesunięcie poziome środka ciężkości wozu z osi symetrii prześwitu toru,
- $h$  - wysokość osi sprzęgu nad główkami szyn toru,
- $h_1$  - wysokość środka ciężkości wozu nad główkami szyn toru,
- $l$  - długość ogniwa sprzęgu.

Nierówność (1) odpowiada przypadkowi pchania wozów na łuku, a także hamowania wozów na łuku. Z uwagi na warunek stateczności poprzecznej są to przypadki najniebezpieczniejsze. Wykresy zależności sił graficznych  $F_p$  od prędkości pociągu  $V$  oraz promienia łuku toru przedstawia rys. 1. Na podstawie odpowiednich pomiarów, obliczeń i danych katalogowych przyjęto odnośnie do wozów ładownych (pustych):

$\Delta p = 0,021/0,046$  m;  $h_1 = 0,900/0,653$ ;  $G_w = 79,5/30,4$  kN;  $L = 4,4$  m;  
 $l = 0,2$  m;  $h = 0,33$  m;  $\Delta h = 0,035$  m - maksymalne ugięcie resorów.



Rys. 1. Wartości graniczne sił  $F_p$  w sprzęgach wozu wynikające z warunku stateczności poprzecznej w zależności od:

a) prędkości ruchu pociągu przy  $R = 20$  m, b) promienia łuku przy  $V = 2,5$  m/s,  
 1 - wozy puste  $p = 0,75$  m, 2 - wozy ładowne  $p = 0,75$  m, 3 - wozy puste  $p = 0,90$  m, 4 - wozy ładowne  $p = 0,90$  m

Siła bezwładności wozu może spowodować podnoszenie kół jednej osi wozu w chwili pojawienia się odpowiednio dużych sił w sprzęgach. Sytuacja taka zachodzi nie tylko w stanach awaryjnych, lecz także w niektórych normalnych stanach ruchowych. Podczas rozruchu pociągu kolejne wozy zostają szarpnięte przez coraz większą masę będącą już w ruchu. W chwili hamowania jadącego pociągu kolejne wozy będą uderzać kolejno o coraz większą masę. Rozwiązując układ równań sił działających na wóz, w składzie pociągu, w płaszczyźnie pionowej równoległej do osi podłużnej wozu, z pominięciem sił tarcia głowic sprzęgów otrzymane wyrażenia na nacisk osi (dwóch kół jednej osi) na szynę [2]:

$$F_1 = 0,5G_w + \frac{h_1 - h}{b} F_d + \frac{h_1}{b} F_r$$

$$F_2 = 0,5G_w - \frac{h_1 - h}{b} F_d - \frac{h_1}{b} F_r$$

(2)

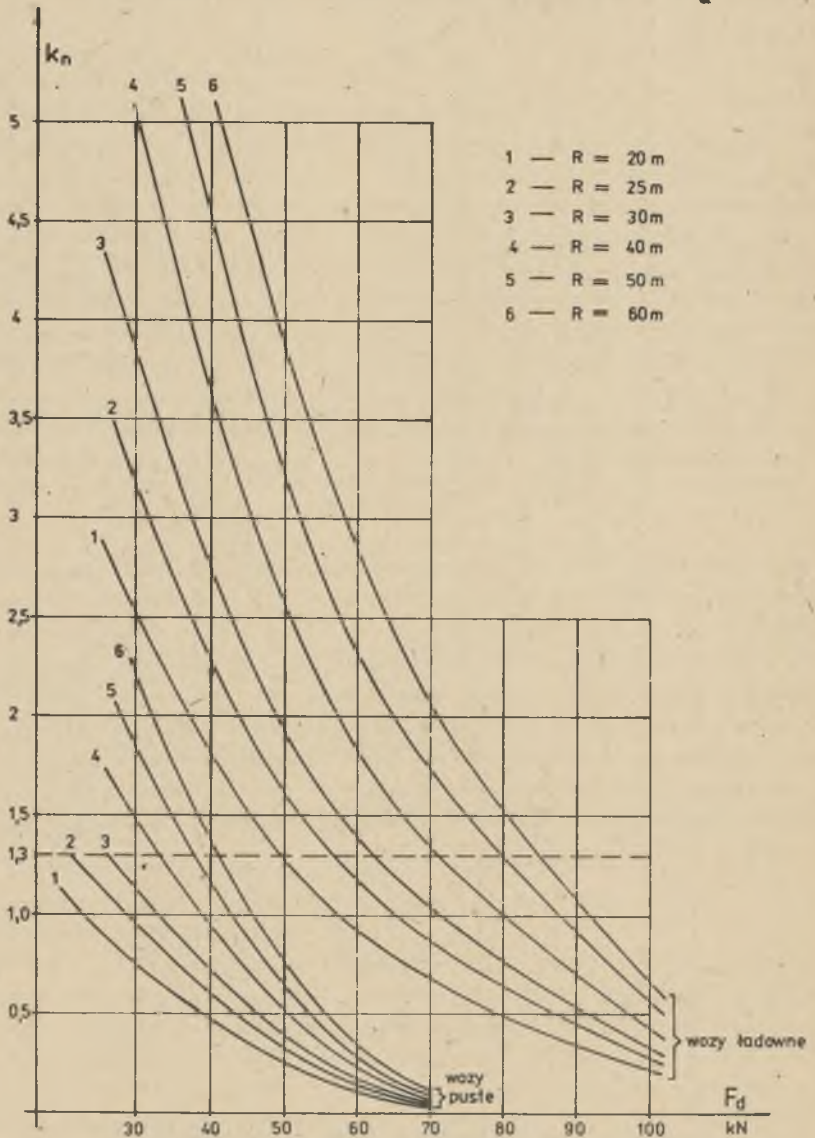
gdzie:

- $F_1, F_2$  - nacisk kół osi pierwszej, drugiej na szynę;
- $F_d$  - siła działająca z zewnątrz na sprzęg podczas hamowania lub pchania wozu,

$F_r$  - siła oporu ruchu wozu;

$b$  - rozstaw osi (dla wozu Granby 5,  $b = 1,88$  m), pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1).

W przypadku szarpnięcia zmieni się zwrot siły  $F_d$  oraz znak przed drugim składnikiem równań (2). Zaniedbując wartość trzeciego składnika równań (2) jako pomijalnie małą, dochodzi się do wyników: przy  $F_d = 88,2$  kN



Rys. 2. Przebieg wartości współczynnika stateczności przeciw napełnieniu koła na szynę  $k_n$  w funkcji siły działającej na jednym sprzęgu  $F_d$ , przy prędkości wozu na łuku  $V = 2,5$  m/s i prześwicie toru  $p = 0,75$  m

nacisk kół jednej osi wozu pustego wynosi zero, przy  $F_d = 131$  kN nacisk kół jednej osi wozu ładownego jest równy zero. Przekroczenie powyższych wartości sił prowadzi do podniesienia jednej z osi wozu. Przy prawidłowym prowadzeniu pociągu do takiej sytuacji nie można dopuścić. Stąd wartości wyżej podanych sił można uznać za graniczne dopuszczalne na torze prostym.

Rozpatrując warunek stateczności przeciw napełzaniu koła na szynę stwierdzono, że najmniejsza wartość współczynnika  $k_n$  występuje podczas hamowania i pchania wozów na łuku przy wywieraniu siły tylko na jeden sprzęg wozu. Wzory na obliczenie współczynnika stateczności przeciw napełzaniu koła na szynę  $k_n$  dla wozów typu Granby 5:

$$k_n = \frac{F_{kr}}{F} = \frac{1,424 F_g}{F}$$

$$F_g = G_w \left(0,25 - \frac{\Delta p}{p}\right) - \left(\frac{h_1 - h}{b} F_d + \frac{h_1 F}{b}\right) \left(0,5 - \frac{\Delta p}{p}\right) \quad (3)$$

$$F = \frac{m_w V^2}{2R} + 0,206 F_d$$

gdzie:

- $F_{kr}$  - krytyczna siła osiowa działająca na zestaw kołowy,
  - $F$  - aktualna siła osiowa działająca na zestaw kołowy,
  - $F_g$  - składowa ciężaru przypadająca na jedno koło,
  - $F_d$  - siła działająca z zewnątrz na sprzęg,
  - $R$  - promień łuku toru,
  - $m_w$  - masa wozu,
  - $V$  - prędkość chwilowa wozu,
- pozostałe oznaczenia jak we wzorach (1) i (2).

Wyrażenie na  $F_{kr}$  we wzorach (3) wyznaczono przy założeniu wartości współczynnika tarcia posuwistego między obrzeżem koła a szyną równej 0,236 oraz geometrii koła wg [5]. Na rys. 2 przedstawiono przebieg wartości współczynnika  $k_n$  w funkcji siły działającej na jeden sprzęg  $F_d$ , przy prędkości wozu na łuku  $V = 2,5 \frac{m}{s}$  i prześwicie toru  $p = 0,750$  m.

W pracy [2], uwzględniając możliwości napędowe lokomotywy Lep-14T, analizowano również wpływ parametrów trasy przewozowej na liczbę wozów Granby 5 w składzie pociągu dołowego. Z przeprowadzonej analizy wynika, że możliwości napędowe lokomotywy w pierwszej kolejności ogranicza jej ciężar adhezyjny. Przyjmując to kryterium oraz uwzględniając fakt przejściowego wyeliminowania z pracy zespołowej jednej lokomotywy na stacji załadowniczej ustalono, że największa dopuszczalna liczba wozów Granby 5 w składzie pociągu z dwiema lokomotywami Lep-14T jest zawarta w przedziale 43-48. Powyższe wartości odnoszą się do warunków niekorzystnych: rozruch na trasie poziomej oraz cofanie pod upad 4%.

### 3. Wpływ parametrów sprzęgu na ustawienie lokomotyw w składzie pociągu

Z warunków stateczności wozu określić można dopuszczalne wartości sił występujących w sprzęgach składu pociągu. Rzeczywiste wartości sił w sprzęgach składu zależne są od rozmieszczenia lokomotyw, sposobu ich sterowania, sił rozwijanych przez lokomotywy, typu wozów i sprzęgów. Przebieg sił statycznych i dynamicznych w sprzęgach stałego składu pociągu przy braku luzów sprzęgowych i różnym ustawieniu lokomotyw w składzie przedstawiono na rys. 3 [2]. W praktyce ruchowej prawie zawsze podczas rozruchu lub hamowania składu występują luzy sprzęgowe. Obecność luzów sprzęgowych decydująco wpływa na wartości sił występujących w sprzęgach składu pociągu, gdyż prowadzi do szarpnięć między dwiema masami. Obliczenia sił w sprzęgach składu pociągu z uwzględnieniem luzów sprzęgowych przeprowadzono przy następujących założeniach:

- obie lokomotywy Lep-14T rozwijają jednakowe siły równe 16200 N,
- hamowanie składu rozpoczyna się od prędkości początkowej 2,5 m/s,
- długość luzu sprzęgowego między wozami jest równa 0,02 m,
- masa pustego wozu Granby 5 3100 kg, masa lokomotywy Lep-14T 14000 kg.

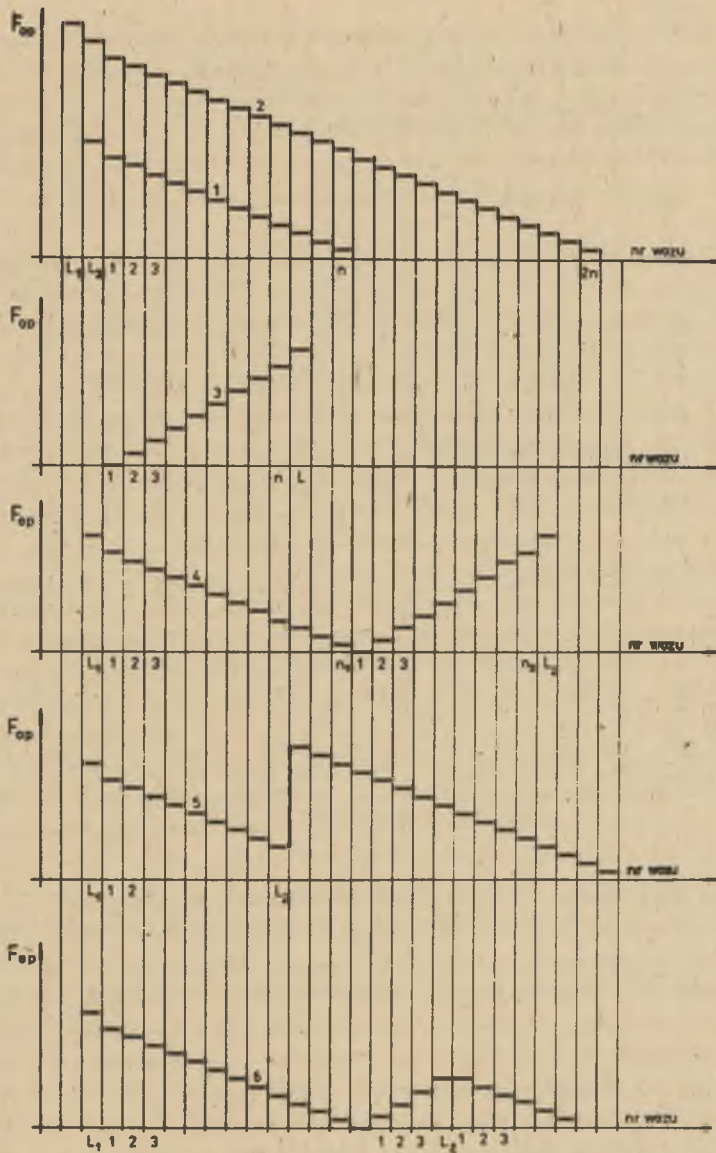
Wartość sił zderzenia mas obliczone ze wzoru (1):

$$F = \sqrt{\frac{c}{2} (\Delta v)^2 \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} + R_0^2} \quad (4)$$

gdzie:

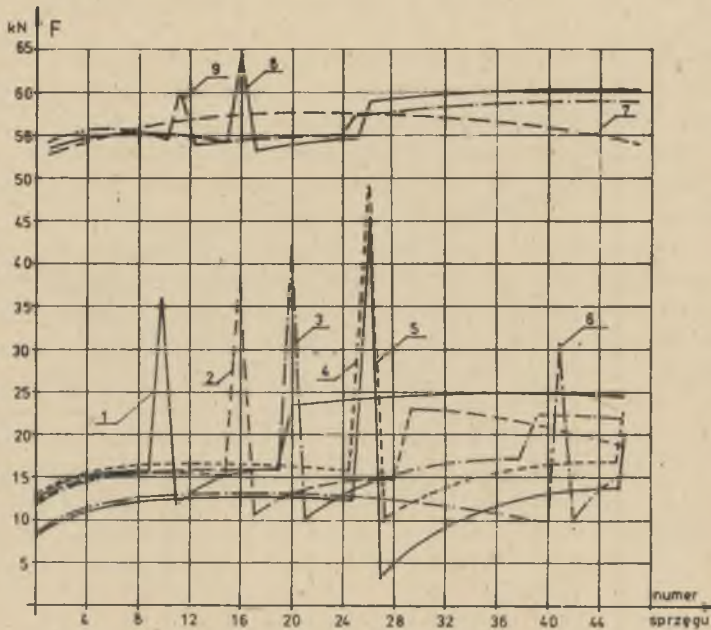
- C - stała sprężyny sprzęgu w N/m,
- $\Delta v$  - względna różnica prędkości zderzających się mas,
- $m_1, m_2$  - masy biorące udział w zderzeniu,
- $R_0$  - siła wstępnego napięcia sprężyny sprzęgu.

Względna różnica prędkości mas w chwili zderzenia zależy od sił rozwijanych przez obie lokomotywy, ich umiejscowienia w składzie pociągu, oporów ruchu pociągu oraz długości luzu sprzęgowego. Na rys. 4 przedstawiono przebieg sił dynamicznych w sprzęgach składu pociągu złożonego z 45 wozów Granby 5 i dwóch lokomotyw Lep-14T przy uwzględnieniu luzów sprzęgowych, różnym ustawieniu lokomotyw w składzie i różnych parametrach sprzęgu wozów. Obliczenia i wykresy sił wykonano dla wozów pustych podczas hamowania składu pociągu, ponieważ ten przypadek ruchowy jest najbardziej niekorzystny ze względu na stateczność wozu. Z rys. 4 wynika, że decydujący wpływ na wartość sił występujących w sprzęgach pociągu, podczas jego hamowania, ma siła  $R_0$  wstępnego napięcia sprężyny sprzęgu (krzywe 1, 6, 8) wozu oraz długość luzu sprzęgowego. Stała sprężyny C nie ma tak znacznego wpływu na te siły, pod warunkiem że nie nastąpi całkowite ściśnięcie sprężyn sprzęgu, czyli wtedy, gdy sprężyna jest w stanie przejąć całą energię kinetyczną pochodzącą od zderzających się mas [3]. Duże siły pojawiają się w sprzęgach wozów składu pociągu posiadających duże luzy sprzęgowe ze



Rys. 3. Rozkład sił statycznych i dynamicznych w sprzęgach składu pociągu jadącego po torze prostym, przy braku wpływu luzów sprzęgowych i rozwijaniu przez obie lokomotywy jednakowych sił

1 - jedna lok. na początku, 2 - dwie lok. na początku, 3 - jedna lok. na końcu, 4 - jedna lok. na początku, druga na końcu, 5 - jedna lok. na początku, druga po  $1/3 n_w$ , 6 - jedna lok. na początku, druga po  $2/3 n_w$ , gdzie:  $n_w$  oznacza liczbę wozów w pociągu dołowym



Rys. 4. Wartości sił w sprzęgach podczas hamowania pociągu pustego, przy wpływie luzów sprzęgowych na torze prostym

1 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 10$  kN  $n_1 = 10$ , 2 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 10$  kN  $n_1 = 15$ , 3 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 10$  kN  $n_1 = 20$ , 4 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 10$  kN  $n_1 = 25$ , 5 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 0$  kN  $n_1 = 25$ , 6 -  $C = 1,59 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 0$  kN  $n_1 = 40$ , 7 -  $C = 0,64 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 53,3$  kN  $n_1 = 15$ , 8 -  $C = 0,64 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 53,3$  kN  $n_1 = 10$ , 9 -  $C = 0,64 \cdot 10^6$  N/m;  $R_o = 53,3$  kN  $n_1 = 10$ , gdzie:  $n_1$  oznacza liczbę wozów między lokomotywami  $L_1$  i  $L_2$

względny na dużą względną różnicę prędkości zderzających się mas. Usytuowanie lokomotywy  $L_2$  w składzie pociągu ma również wpływ na wielkości sił w sprzęgach składu pociągu. Przy usytuowaniu lokomotywy  $L_2$  po 10-15 wozach, licząc od początku składu, na którego czole znajduje się lokomotywa  $L_1$  lub po 35-40 wozach uzyskuje się mniejsze siły dynamiczne w sprzęgach niż przy usytuowaniu lokomotywy  $L_2$  w pobliżu połowy składu (krzywe 2, 6 i 5 - rys. 4). Ze względów ekonomicznych lepiej jest, jeżeli lokomotywa  $L_2$  nie pcha wozów, gdyż dla wozu pchanego rośnie stały składnik jednostkowy oporów ruchu. Z tego względu należy zrezygnować z ustawienia lokomotywy  $L_2$  po 35-40 wozach w składzie pociągu z 45 wozami Granby 5. Zatem do ruchu okrężnego proponuje się skład złożony w następujący sposób: lokomotywa  $L_1$  - 10-15 wozów, lokomotywa  $L_2$  - 35-30 wozów. Do ruchu wahadłowego, ze względu na konieczność usytuowania lokomotyw na ośiach składu, proponuje się ustawienie: lokomotywa  $L_1$  - 45 wozów, lokomotywa  $L_2$ . Rozkład sił w sprzęgach składu przy tym usytuowaniu przedstawia krzywa 7 na rys. 4.



#### 4. Podsumowanie

Porównanie sił występujących w sprzęgach składu pociągu, (krzywe 7, 8, 9 - rys. 4) złożonego z wozów Granby 5 i lokomotyw Lep-14T, z siłami dopuszczalnymi' zdeterminowanymi przez współczynnik  $k_n$  stateczności wozu przeciw napełnieniu koła na szynę wskazuje, że w celu zapewnienia prawidłowego prowadzenia ruchu pociągu należy ograniczyć rzeczywiste wartości sił powstające w sprzęgach wozów. Proponuje się ograniczenie sił w sprzęgach poprzez:

- a) zmniejszenie siły  $R_0$  wstępnego napięcia sprężyny sprzęgu wozu Granby 5 z 53,3 kN do wartości 0-10 kN,
- b) zmianę stałej sprężyny sprzęgu z  $0,64 \cdot 10^6$  n/m do  $1,59 \cdot 10^6$  N/m,
- c) ograniczenie, do chwili skasowania luzów sprzęgowych w składzie pociągu, sił rozwijanych przez obie lokomotywy do 16200 N,
- d) wybór takiego ustawienia lokomotyw w składzie, przy którym występują możliwie małe siły w sprzęgach wozów (patrz pkt 3 i rys. 4).

Ograniczenie sił rozwijanych przez obie lokomotywy prowadzi do zmniejszenia względnej różnicy prędkości zderzających się mas, a w konsekwencji, zgodnie ze wzorem (4), do zmniejszenia sił w sprzęgach.

Spełniając zadość warunkom bezpieczeństwa, ruchowym i ekonomicznym proponuje się do ruchu okrężnego skład złożony z lokomotywy L1 - 10-15 wozów - lokomotywy L2 - 35-30 wozów Granby 5, zaś do ruchu wahadłowego L1 - 45 wozów - L2. Użycie dwóch lokomotyw umożliwi utrzymanie stałości składu pociągu oraz samodzielny jego ruch we wszystkich warunkach i na wszystkich odcinkach trasy.

Wartości sił dynamicznych w sprzęgach będą się różniły od podanych na rys. 4, jeżeli siły rozwijane przez obie lokomotywy będą niejednakowe. Może to wpłynąć na zmianę ustawienia lokomotyw w składzie pociągu.

Zależność współczynnika  $k_n$  od prędkości pociągu na łuku jest nieznaczna. Przykładowo obniżenie prędkości pociągu na łuku o promieniu  $R = 20$  m z 2,5 do 0,5 m/s przy sile na sprzęgu  $F_d = 30$  kN, spowoduje wzrost współczynnika  $k_n$  o 4%.

Obliczenia w mniejszej pracy przeprowadzono przy bezprzechyłowym ułożeniu toru na łuku.

#### LITERATURA

- [1] Antoniak J.: Transport kopalniany. Kopalniana kolej podziemna. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1974.
- [2] Baron E., Kolek M., Liberus M., Liberus Z., Mietła S.: Założenia i koncepcja prawidłowego prowadzenia pociągu w podziemiach kopalń przy dopuszczalnym wyzyskaniu mocy lokomotyw przewodowych. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej (niepubl.). Wykon. w Instytucie Elektryfikacji i Automatykacji Górnicztwa Pol. Śl., Gliwice 1979.

- [3] Popow M.: Optimalnyje parametry pruzinnogo bufiernogo ustroistwa szachtnych wagonetok. Gornyj Żurnal 1972 nr 9.
- [4] Przepisy budowy i eksploatacji kopalnianych kolei podziemnych MG i E, Dep. Energo-Mechaniczny, Katowice 1975.
- [5] BN-71/1723-03, Wozy kopalniane nieresorowe. Zestawy kołowe. Główne Wykłady. Warszawa 1971.

Wpłynęło do Redakcji 2.12.1980 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jerzy Antoniak

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА УСТАНОВКИ КАБЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ LEP-14T  
В СОСТАВЕ ШАХТНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

Р е з ю м е

В статье представлено влияние установки кабельных электровозов в составе подземного поезда на его правильное управление движением. Расчитаны допустимые величины динамических сил в муфтах поезда, в состав которого входят кабельные электровозы LEP-14T и шахтные вагонетки Granby 5 с учетом свободного хода муфт.

PROBLEMS OF POSITIONING THE TWO LEP-14T LEADING LOCOMOTIVES  
IN THE MINING TRAIN COMPOSITION

S u m m a r y

The paper presents the effect of positioning locomotives in the pit train composition on its proper driving. Permissible values of dynamic forces in the train clutches made up of the LEP-14T locomotives and the Granby 5-cars have been calculated with clutch clearance considered.