

Wybrane zagadnienia kształtowania bezpieczeństwa wagonów w systemie rozrządzenia grawitacyjnego

W pracy przeanalizowano ryzyko związane ze zderzeniami wagonów, spowodowane nieuwzględnieniem oporów powietrza działających na toczące się wagony po torach kierunkowych w systemach rozrządzenia grawitacyjnego. Główną uwagę skupiono na wykazaniu zagrożeń bezpieczeństwa wynikających z nieuwzględnienia oporów powietrza.

1. Wstęp

Bezpieczeństwo transportu kolejowego zależy m.in. od bezpiecznego funkcjonowania stacji rozrządowych, manewrowych i zakładowych a bezpieczna praca tych stacji zależy w dużym stopniu od zapewnienia bezpieczeństwa wagonów w systemie rozrządzenia grawitacyjnego.

Wielkość strat ponoszonych w Polsce z powodu kolizji wagonów i rozbijania ładunków w systemach rozrządzenia grawitacyjnego przekracza 100 mln. zł. rocznie.

Do obliczeń przyjęto wagon lekkobieźny E_{alios} – 423W i ciężkobieźny E_s – 3 W/L o następujących parametrach (odpowiednio):

$$F = 7,4 \text{ m}^2, c = 1, G = 795 \text{ kg}, g' = 9,57 \text{ m/s}^2 \text{ oraz} \\ F = 6 \text{ m}^2, c = 1,1, G = 111 \text{ kg}, g' = 9,00 \text{ m/s}^2.$$

2. Sformułowanie problemu

Największe zagrożenie bezpieczeństwa wagonów występuje podczas ich rozrządzenia w systemach rozrządzenia grawitacyjnego.

Dużo uszkodzeń wagonów i ładunków występuje na torach kierunkowych. Przyczyną tych uszkodzeń jest nieprecyzyjny dojazd poszczególnych wagonów do grupy wagonów akumulowanych.

Spowodowane to jest m.in. przez nieuwzględnianie podczas hamowania oporów ruchu od powietrza, działających na toczące się wagony.

Oporów tych nie jest w stanie uwzględnić operator hamulców torowych podczas sterowania ręcznego, potoautomatycznego i automatycznego (brak pomiaru prędkości wiatru).

Operator stara się utrzymać prędkość dojazdu wagonów do stojących już na torach kierunkowych na poziomie $V_k = 0$.

Niemożliwość uwzględnienia oporów powietrza powoduje, że następują jednak zderzenia wagonów i ich uszkodzenia na torach kierunkowych.

Należy więc opracować funkcję F szacującą ryzyko R uszkodzeń wagonów spowodowane nieuwzględnieniem oporów powietrza OP działających na wagony:

$$F : OP \rightarrow R \quad (1)$$

3. Metoda badań i wyniki

Z punktu widzenia bezpieczeństwa podstawową grupę zagadnień stanowi regulacja prędkości toczących się odpręgów. Regulację tę zapewniają urządzenia hamujące, znajdujące się na drodze staczania odpręgów wagonowych od punktu zrywu do punktu docelowego na torze kierunkowym.

Poszczególne stałe pozycje hamowania dzielą całą drogę staczania odpręgów na strefy staczania:

A – od wierzchołka góry do pierwszej pozycji hamowania (hamowanie odstępowe),

B – między pozycjami hamowania odpręgów,

C – od hamulca drugiej pozycji (docelowego) do punktu docelowego odpręgów na torach kierunkowych.

Strefy A i B są istotne przy analizie następstwa staczania wagonów w strefie podziałowej stacji rozrządowej. Regulacja prędkości odpręgów w tych strefach ma na celu uzyskanie możliwie maksymalnego rytmu rozrządzenia bez dopędzania się odpręgów w strefie podziałowej, a także zapewnienie odpręgom z góry określonej prędkości wjazdu na drugą pozycję hamowania.

Regulacja prędkości odpręgów w strefie C drogi staczania polega na nadaniu wagonom takiej prędkości wyjazdu z drugiej pozycji hamowania, aby dojechały one do miejsca docelowego na torze kierunkowym z prędkością nie przekraczającą wartości bezpiecznej dla wagonów i ładunków.

Odpręg staczany w systemie rozrządzenia grawitacyjnego podlega działaniu dwóch sił: jednostkowej siły grawitacyjnej na pochyleniu oraz jednostkowej siły oporu ruchu odpręgu, złożonej z trzech składników [1]:

$$w = w_o + w_l + w_p \quad (2)$$

gdzie:

w_o – jednostkowy opór toczenia,

w_l – jednostkowy opór od łuków poziomych i rozjazdów,

w_p – jednostkowa siła parcia powietrza.

Jednostkowa siła parcia powietrza jest wprost proporcjonalna do kwadratu prędkości powietrza względem wagonu V_p :

$$w_p = a V_p^2 \quad (3)$$

gdzie:

a – współczynnik proporcjonalności

$$a = \frac{cF}{1600 \cdot G} \quad (4)$$

przy czym:

c – współczynnik oporu aerodynamicznego,

F – powierzchnia czołowa wagonu [m^2],

G – masa własna wagonu [kg].

Prędkość powietrza przy założeniu, że wiatr jest przeciwny do ruchu wagonu i działa pod kątem $\alpha = 0^\circ$ wynosi:

$$V_p = V + V_w \quad (5)$$

gdzie:

V – średnia prędkość wagonu [m/s],

V_w – prędkość wiatru [m/s].

Założenie to wynika z faktu, że w kierunku ruchu wagonu wiatr jest ograniczony przez grzbiet góry, a na sąsiednich torach kierunkowych stoją wagony, które ograniczają wiatr boczny. Przy projektowaniu systemów rozrządzenia grawitacyjnego przyjmuje się najczęściej prędkość wiatru przeciwnego $V_w = 3$ m/s.

Prędkość wyjazdu wagonów z hamulca docelowego zawiera się w granicach 5,5+1,5 m/s.

Odczytując wolną długość toru kierunkowego, operator dobiera taką prędkość wyjazdu z hamulca docelowego, aby wagon dojechał z prędkością $V_k = 0$ do wagonów już stojących na torach kierunkowych.

Wzór na zasięg jazdy wagonu „I” ma postać [1]:

$$l = \frac{V_{wy}^2}{2 \cdot g' \cdot (w_o + w_p - i)} \quad [m] \quad (6)$$

gdzie:

V_{wy} – prędkość wyjazdu wagonu z hamulca docelowego [m/s],

g' – zmodyfikowane przyspieszenie ziemskie [m/s²],

i – pochylenie toru kierunkowego.

Podstawiając do wzoru (6) parametry wagonu ciężkobieźnego z uwzględnieniem oporu powietrza i bez uwzględnienia, można obliczyć odległość Δl wcześniejszego zatrzymania wagonu dla wiatru przeciwnego.

Stąd można obliczyć prędkość zderzenia V_z wagonów, wynikającą z pominięcia oporu powietrza ze wzoru:

$$\Delta l = \frac{V_z^2}{2g'(w_o + w_p - i)} \quad [m] \quad (7)$$

We wzorze tym należy podstawić parametry wagonu lekkobieźnego, który jedzie za wagonem ciężkobieźnym.

Dla wagonów lekkobieźnych można pominąć opór jednostkowy od powietrza, gdyż kształtuje się on na poziomie 10% parametrów w_o oraz i .

Podstawiając za $V_z = 1,5$ m/s, czyli dopuszczalną prędkość zderzenia, można obliczyć Δl , tzn. o ile wcześniej musi zatrzymać się wagon ciężkobieźny, aby jadący za nim wagon lekkobieźny uderzył go z prędkością niebezpieczną $V_z > 1,5$ m/s, korzystając ze wzoru:

$$\Delta l > \frac{V_z^2}{2 \cdot g' \cdot (w_o - i)} \quad [m] \quad (8)$$

Rozwiązując nierówność dla wagonu ciężkobieźnego:

$$\Delta l > \frac{V_{wy}^2}{2g'(w_o - i)} - \frac{V_{wy}^2}{2g'(w_o + w_p - i)} \quad [m] \quad (9)$$

otrzyma się wartość V_{wy} wyjazdu wagonu ciężkobieźnego z hamulca docelowego, przy której nastąpi przekroczenie dopuszczalnej prędkości uderzenia wagonu lekkobieźnego

we wcześniej zatrzymany wagon ciężkobieźny, w przypadku nieuwzględnienia jego oporów powietrza.

Wszystkie prędkości większe od obliczonej V_{wy} będą skutkowały niebezpiecznymi zderzeniami.

Prawdopodobieństwo wystąpienia tych niebezpiecznych prędkości wyjazdu można obliczyć z zależności:

$$P_r = \frac{5,5 - V_{wy}}{5,5 - 1,5} = \frac{5,5 - V_{wy}}{4} \quad (10)$$

gdzie:

5,5 i 1,5 – skrajne prędkości wyjazdu wagonów z hamulca docelowego [m/s].

Prawdopodobieństwo pojawienia się wagonu lekkobieźnego za wagonem ciężkobieźnym wynosi [3]:

$$P_{cl} = 0,04$$

Prawdopodobieństwo wjechania jednego wagonu za drugim na ten sam tor kierunkowy wynosi $P_k = 0,062$.

Średni koszt naprawy uszkodzonego wagonu w systemie rozrządzenia grawitacyjnego wynosi około $K = 300.000$ zł.

Prawdopodobieństwo wystąpienia wiatru przeciwnego z prędkością $V_w = 3$ m/s (około 2°B) przyjęto $P_w = 0,1$.

Wysokość ryzyka związana ze szkodliwymi zderzeniami wagonów a spowodowana zaniedbaniem jednostkowych oporów powietrza wynosi:

$$R = P_v \cdot P_{cl} \cdot P_k \cdot 2K \cdot P_w \quad [zł] \quad (11)$$

4. Wnioski

Z wykonanej pracy wynikają następujące wnioski:

a) każde przedwczesne zatrzymanie wagonu ciężkobieźnego z odległości $\Delta l > 95,74$ m wywołuje najechanie na niego wagonu lekkobieźnego z niebezpieczną prędkością,

b) przy prędkości jazdy $V_{wy} > 4,4$ m/s wagonu ciężkobieźnego z hamulca docelowego następuje przekroczenie dopuszczalnej prędkości zderzenia $V_z > 1,5$ m/s wagonu lekkobieźnego z wcześniej zatrzymanym wagonem ciężkobieźnym,

c) prawdopodobieństwo wybrania niebezpiecznych prędkości wyjazdu z hamulca docelowego wagonu ciężkobieźnego wynosi $P_v = 0,275$,

d) wysokość ryzyka związana ze zderzeniami wagonów, spowodowana nieuwzględnieniem jednostkowych oporów powietrza wagonów ciężkobieźnych wynosi: $R = 41$ zł.

Literatura

- [1] Cieślakowski St.J., *Stacje kolejowe*, Warszawa, WKiŁ, 1992.
- [2] Gajda B., *Stacje rozrządowe*, Warszawa, WKiŁ, 1966.
- [3] Wegierski J., *Układy torowe stacji*, Warszawa, WKiŁ, 1974.