

Granice skuteczności działania hamulców pociągów pasażerskich

W okresie, w którym największe prędkości jazdy pociągów pasażerskich nie przekraczały 160 km/h, do hamowania pociągów był stosowany niemal wyłącznie samoczynny hamulec powietrzny, najczęściej klockowy. Stopniowe wprowadzanie na liniach głównych pociągów o prędkościach 200 km/h, 300 km/h, a nawet ponad 300 km/h stało się możliwe dzięki pojazdom trakcyjnym napędzanym elektrycznymi silnikami. Hamowanie pociągów od tak dużych prędkości wyłącznie hamulcami powietrznymi powodowało by nadmierne wydłużanie drogi hamowania. Stało się więc konieczne stosowanie w takich pociągach dwóch rodzajów hamulców, z równoczesnym doskonaleniem układów ich sterowania i wprowadzaniem automatycznych urządzeń umożliwiających optymalne wykorzystywanie współdziałających hamulców.

Pociągi o masach 500 do 600 t z prędkościami do 200 km/h są złożone z wagonów ciągniętych przez lokomotywy elektryczne typu Bo-Bo o naciskach osi przekraczających 200 kN, w których wymagana duża moc rzędu 6000 kW jest osiągnięta przez 4 silniki trakcyjne asynchroniczne lub synchroniczne. Ze względów dynamicznych i dla zapewnienia niepogarszania się warunków współpracy w układzie tor – pojazd, pociągi przewidziane do jazd z prędkościami wyższymi niż 200 km/h są budowane jako zespoły trakcyjne złożone z wagonów silnikowych i doczepnych o specjalnej konstrukcji lub krańcowych członów napędowych i wagonów z wózkami tocznymi, w których naciski osi na tor nie przekraczają 170 kN. W zespołach takich wymagana duża moc, przekraczająca 7000 kW, jest rozłożona na wiele dwuosiowych wózków napędnych.

Zarówno w lokomotywach, jak i wózkach napędnych zespołów trakcyjnych, silniki trakcyjne po przełączeniu na pracę prądnicową są wykorzystywane do hamowania zestawów kołowych. Hamowanie elektrodynamiczne w pojazdach trakcyjnych jest traktowane jako podstawowe, a jego moc ograniczają warunki przyczepności kół z szynami. Stosowany przy

tym hamulec powietrzny cierny, również zależny od warunków przyczepności, stał się hamulcem dodatkowym. W zależności od przyjętego sposobu sterowania, hamowanie elektrodynamiczne może współdziałać w przebiegu hamowania z hamulcem ciernym powietrznym lub też każdy z tych hamulców może działać niezależnie.

W wagonach przewidzianych do prędkości jazdy wyższych niż 160 km/h, podstawowym hamulcem jest nadal samoczynny cierny (najczęściej tarczowy) hamulec powietrzny, zaś hamulcem dodatkowym jest magnetyczny hamulec szynowy, którego działanie jest niezależne od przyczepności. Włączenie do działania tego hamulca jest zależne od spadku ciśnienia powietrza w układzie sterowania działaniem hamulców.

Wskaźniki skuteczności działania hamulców

Skuteczność hamowania charakteryzuje długość drogi L [m] przebytej przez pociąg lub pojazd o znanej masie Q , poruszający się w chwili uruchomienia hamulców z określoną prędkością v_0 [km/h], aż do zatrzymania. Drugą wielkością charakteryzującą skuteczność hamowania jest średnia wartość opóźnienia hamowania a_s [m/s²]. Związek tych wielkości wyraża znany wzór:

$$a_s = \frac{v_0^2}{25,92 L} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1)$$

Skuteczność hamowania pociągu lub pojazdu (głównie w odniesieniu do hamulców ciernych) określa się na podstawie jednego z dwóch umownych wskaźników. Jednym z nich, nieuwzględniającym długości przebytej drogi podczas hamowania, jest intensywność hamowania A wyrażana w procentach, którą stanowi iloraz sumy nacisków N [kN] par ciernych wywieranych na koła lub na tarcze osi zestawów kołowych i sumy nacisków Q [kN] osi na tor, czyli:

$$A = \frac{N}{Q} 100\% \quad (2)$$

Drugim wskaźnikiem stosowanym w ramach przepisów UIC jest masa hamująca B [t] obliczana z wzoru:

$$B = \frac{\lambda Q'}{100} \quad [\text{t}] \quad (3)$$

gdzie:

Q' – masa pojazdu lub pociągu [t],

λ – procent masy hamującej, który w odniesieniu do pojazdów lub pociągów przewidzianych do jazd z prędkościami większymi niż 100 km/h odczytuje się z wykresów zamieszczonych w karcie UIC-544-1, na podstawie długości dróg hamowania [m] zmierzonych podczas jazd próbnych na szlaku poziomym i prostym, przebytych od chwili wszczęcia hamowania od określonych prędkości jazdy v_0 [km/h], do zatrzymania; początkowe prędkości v_0 wynoszą: 100, 120, 140, (150) lub 160 km/h.

W wybranych przepisach zawartych w karcie UIC-546 dotyczącej hamulców dużej mocy pociągów pasażerskich

zaleca się, aby: „Skuteczność działania hamulców lokomotyw w różnych ich nastawieniach (G – towarowy, P – osobowy, R – rapid, tj. pospieszny, a także w nastawieniach z współdziałającym hamowaniem elektrodynamicznym E) powinna być bliska skuteczności działania hamulców wagonów”. W projekcie nowej wersji karty UIC-544-1, do wyznaczenia procentu masy hamującej λ lokomotyw wyposażonych w inne hamulce niż klockowe na sprężone powietrze należy posługiwać się wykresem w załączniku A1 lub wzorami podanymi w załączniku A1 w postaci:

$$\lambda = \frac{C}{L} D\%, \quad L = \frac{C}{\lambda + D} \text{ [m]} \quad (4)$$

gdzie:

V [km/h]	C	D
100	61 300	8,9
120	91 633	11,6
140	130 995	11,6
150	152 640	11,6
160	176 714	11,6
180	228 219	11,6
200	287 620	11,6

Zarówno intensywność hamowania A , jak i masę hamującą B można odnieść do jednego zestawu kołowego przy założeniu równomiernego rozkładu obciążeń na poszczególne osie pojazdu. W takim przypadku:

$$A_1 = \frac{nK}{q} 100\% \quad (5)$$

$$B_1 = \frac{\lambda q'}{100} \text{ [t]} \quad (6)$$

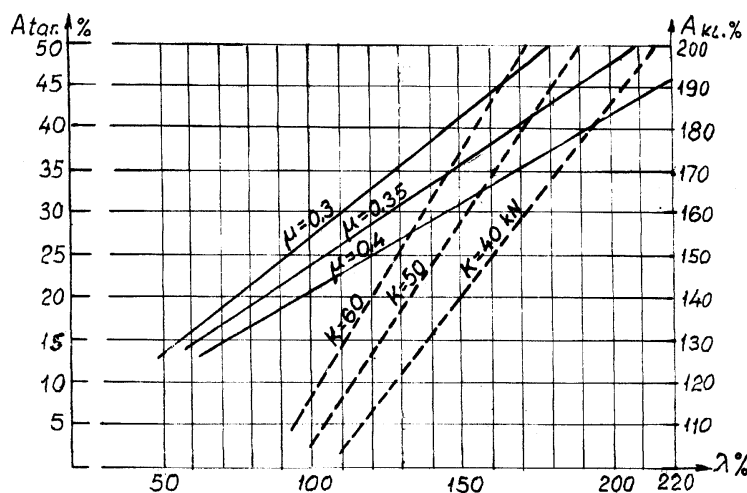
gdzie:

n – liczba par ciernych działających na zestaw kołowy,

K – siła docisku jednej pary ciernej [kN],

q – nacisk zestawu kołowego na tor [kN],

q' – masa pojazdu przypadająca na zestaw kołowy [t].



Rys. 1. Liniowe zależności intensywności hamowania $A_{kl}(\lambda)$ oraz $A_{tar}(\lambda)$

Między intensywnością hamowania A , a procentem masy hamującej λ występują określone związki [4].

W odniesieniu do ciernych hamulców klockowych:

$$\lambda = k_{kl} \cdot A_{kl} \quad (7)$$

przy czym w przypadku obustronnego hamowania kół zestawu ($n = 4$) klockami z podwójnymi wstawkami żeliwnymi, dociskanymi do kół siłą K [kN], wartości współczynnika k_{kl} wynoszą:

K [kN]	40	50	60
k_{kl}	1,07	0,94	0,86

W odniesieniu do ciernych hamulców tarczowych:

$$\lambda = k_t \cdot A_{tar} \quad (8)$$

przy czym wartości współczynnika proporcjonalności k_t zależne od wartości współczynnika tarcia ślizgowego μ_t wynoszą:

μ_t	0,3	0,35	0,4
k_t	3,60	4,20	4,80

Liniowe zależności $A_{kl}(\lambda)$ oraz $A_{tar}(\lambda)$ przedstawiono na rysunku 1, na którym linie kreskowane odnoszą się do hamulców klockowych, zaś linie ciągłe do hamulców tarczowych.

Skuteczność działania ciernych hamulców na sprężone powietrze

W ciernych hamulcach czynną siłą hamującą zestaw kołowy jest siła tarcia ślizgowego $nK\mu$, której praca zostaje zamieniona na ciepło rozpraszane przez dociskane pary cierne. Dopuszczalne temperatury nagrzania nie powinny przekraczać wartości, po których mogą występować deformacje cieplne, uszkodzenia lub pęknięcia tych par.

Hamulce klockowe

Ażeby hamowany zestaw kołowy o nacisku osi q [kN] nie wpadł w poślizg, musi być spełniony warunek:

$$nK\mu_{kl} \leq q\psi \quad (9)$$

gdzie:

μ_{kl} – współczynnik tarcia ślizgowego wstawek klocków o powierzchni toczne kół,

ψ – współczynnik przyczepności kół z torem.

Przebieg wartości współczynnika tarcia μ_{kl} w funkcji prędkości jazdy v jest przedstawiony na wykresie (rys. 2). Jak widać, w dużym zakresie prędkości od najwyższych do ok. 50 km/h, wartość współczynnika jest praktycznie stała, przy czym przyjmuje się $\mu_{kl} \cong 0,07$. Wzrost wartości μ_{kl} w zakresie małych prędkości powoduje, że stosuje się dwa stopnie hamowania przez zmianę ciśnienia powietrza w siłownikach (cylindrach) hamulcowych. Wysoki stopień od v_{max} do około 50 km/h, a niski przy prędkościach poniżej 50 km/h (mniejsze ciśnienie powietrza w siłownikach), dzięki czemu

zapobiega się blokowaniu kół i ich poślizgom. Ze względu na nieprzekraczanie temperatur nagrzania, wartość jednostkowa nacisku klocków na koła nie powinna przekraczać $p_k \leq 1,2$ MPa.

Jak wiadomo, wartość współczynnika przyczepności ψ jest w dużym stopniu zależna od warunków pogodowych, stanu czystości główek szyn i powierzchni toczyń kół. Ze względu na zapewnienie przebiegu hamowania bez poślizgu kół w przypadkach szyn zanieczyszczonych, przyjmuje się średnią wartość $\psi_s \leq 0,08$. Przebieg wartości $\psi(v)$ przedstawiono na rysunku 3. Większe wartości ψ_s mogą być przyjmowane w przypadku stosowania urządzeń przeciwoślizgowych o dużej czułości z wykrywaniem mikroślizgów kół.

Wykorzystując znany związek:

$$q\psi_s = \frac{q}{g} a_s \quad (10)$$

można przyjmować średnią wartość opóźnienia hamowania $a_s \approx 0,8$ m/s². W hamulcach dużej mocy koła są hamowane obustronnie ($n = 4$), przy czym są stosowane klocki dwuwstawkowe o powierzchni $F_{KL} \cong 500$ cm². Przy dopuszczalnym nacisku jednostkowym $p_k = 1,2$ MPa największa siła docisku pary ciernej $K_{kt} = F_p \cdot p_k = 60$ kN.

Przyjmując dla lokomotyw $q = 210$ kN:

$$A_1 = \frac{60 \cdot 4}{210} 100 = 114\%$$

zaś

$$\lambda = 0,86 \cdot 114 = 98\%$$

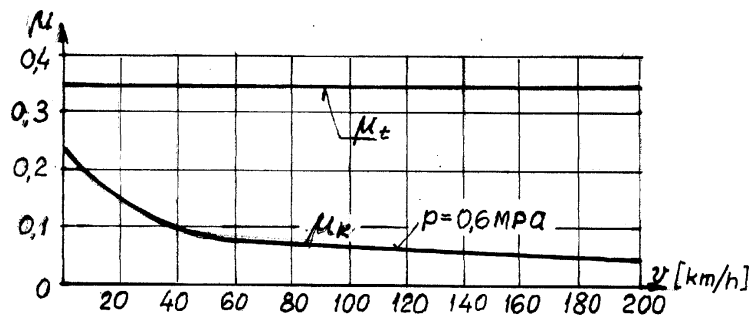
W wagonach osobowych, w których naciski osi są znacznie mniejsze, osiągnięte wartości A_1 oraz λ są znacznie większe.

Hamulce tarczowe

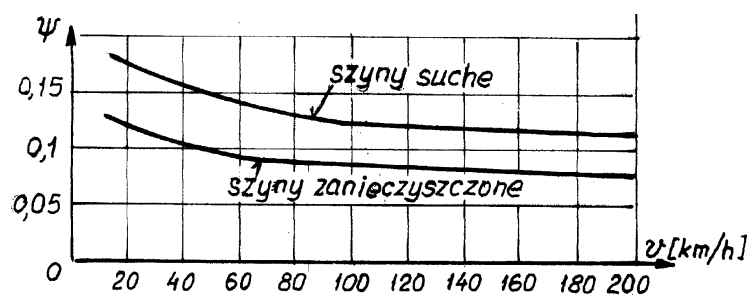
W porównaniu z hamulcami klockowymi, istotną zaletą hamulców tarczowych jest wyższa dopuszczalna obciążalność cieplna przy stosowanych materiałach par ciernych oraz praktycznie stała, niezależnie od prędkości, wartość współczynnika tarcia ślizgowego μ_t (rys. 2), którą przyjmuje się $\mu_t = 0,35$. We współczesnych konstrukcjach okładziny cierne są najczęściej dociskane przez nożycową przekładnię dźwigniową do obu stron każdej tarczy siłą od jednego siłownika (cylindra) hamulcowego. W pojazdach trakcyjnych tarcze hamulcowe mogą być osadzone na osiach zastawów kołowych napędnych w liczbie dwóch ($n = 4$) lub na wale drążonym układem napędowym w liczbie dwóch lub trzech ($n = 6$), albo mogą być umocowane po obu stronach kół zastawu ($n = 4$). W wagonach tarcze hamulcowe są zawsze osadzone na osiach w licznie dwóch, trzech lub czterech ($n = 8$). Powierzchnia okładziny ciernej w hamulcach dużej mocy wynosi często $F_t = 400$ cm², przy czym nacisk jednostronny $p_t \leq 0,6$ MPa. W takim przypadku siła docisku pary ciernej $K_t \leq 24$ kN.

Aby hamowany zestaw kołowy nie wpadał w poślizg, musi być spełniony warunek:

$$n K_t \mu_t r_s \leq q \psi_s R \quad (11)$$



Rys. 2. Zależność wartości współczynnika tarcia μ_t w funkcji prędkości jazdy v



Rys. 3. Zależność współczynnika przyczepności ψ od prędkości jazdy v

gdzie, oprócz omówionych wielkości:

r_s – promień średni (obliczeniowy) przyłożenia siły K_t ,

R – promień koła zestawu kołowego.

W obliczeniach hamulców przyjmuje się $r_s/R = 0,5$. Podobnie, jak w odniesieniu do hamulców klockowych, czy też hamulców elektrodynamicznych, ze względu na osiągnięcie „bezpiecznych” dróg hamowania w przypadkach złych warunków atmosferycznych lub zanieczyszczonych główkach szyn, przyjmuje się $\psi_s = 0,07$. Większe wartości współczynnika ψ_s mogą być przyjmowane w przypadkach stosowania niezawodnych i czułych urządzeń przeciwoślizgowych. Przy wymienionych założeniach, gdzie:

$$\frac{\psi_s}{\mu_t} = 0,2$$

na podstawie wzoru (11) otrzymuje się, że wartość siły docisku K_t [kN] jest zależna od nacisku osi q [kN] i liczby par ciernych n :

$$K_t = \frac{0,4}{n} q \text{ [kN]} \quad (12)$$

stąd

n	4	6	8
K_t	0,1 q	0,066 q	0,05 q

W tych przypadkach intensywność hamowania $A_{tt} = 40,0\%$, zaś procent masy hamującej – według zależności (8):

$$\lambda = 4,2 \cdot A_{tt} = 168\%.$$

Dopuszczalna wartość $K_t = 24$ kN występuje tylko w przypadku lokomotywy o nacisku osi $q = 240$ kN i dwóch tarczach na osi ($n = 4$). Obliczana ze związku (4) długość drogi hamowania pojazdu od początkowej prędkości $v_0 = 200$ km/h

$$L = \frac{287 \cdot 620}{168 + 11,6} = 1600 \text{ m}$$

zaś średnia wartość opóźnienia obliczana z wzoru (1) $a_s = 0,96$ m/s².

Hamowanie elektrodynamiczne

Podczas hamowania elektrodynamicznego silniki trakcyjne przełączone na pracę prądnicową, napędzane zestawami kołowymi rozpędzonego pojazdu, przetwarzają energię kinetyczną na elektryczną z jej zwrotem do źródła zasilania, lub energia elektryczna jest wytracana w rezystorach hamowania i zamieniana na ciepło.

Ze względu na zależność tego sposobu hamowania od wartości współczynnika przyczepności ψ , siła hamująca jednego zestawu kołowego wynosi

$$F_{h1E} = q\psi_s \quad (13)$$

Określenie procentu masy hamującej λ wymaga przeprowadzenia jazd próbnych i zmierzenia dróg hamowania L_h lokomotywy hamowanej silnikami od określonych prędkości początkowych v_0 [km/h]. Na podstawie uśrednionej wartości długości drogi hamowania oblicza się z wzoru (4) wartość λ [%], a z niej wartość masy hamującej B [t].

Elektromagnetyczny hamulec szynowy

Jak wspomniano na wstępie hamulce te są stosowane w wagonach przewidzianych do jazd z prędkościami większymi niż 160 km/h. Hamulec ten stanowią w każdym wózku zawieszony nad torem dwa elektromagnesy, dla których po opuszczeniu szyn, zworami są główki szyn. Każdy elektromagnes tworzą dwa długie elektromagnesy (bieguny) o poprzecznym magnesowaniu. Cewki elektromagnesów są zasilane prądem z oddzielnych baterii akumulatorów. Włączenie do działania i wyłączenie hamulca szynowego jest sterowane spadkiem lub wzrostem ciśnienia powietrza w układzie zasilającym działającego jednocześnie hamulca ciernego klockowego lub tarczowego.

Siły docisku P elektromagnesu (płozy) do główki szyny obliczane z wzoru empirycznego

$$P \text{ [kN]} = 84 \cdot L_{pl} \text{ [m]}$$

gdzie:

L_{pl} – długość płozy, nie krótsza niż 1 m,

znajdują się w przedziale 90 do 110 kN. W obliczeniach hamulców szynowych wartość współczynnika tarcia ślizgowe stalowej płozy o główkę szyny przyjmuje się $\mu_m = 0,04$. Siła hamująca jednej płozy $H_1 = P_1 \mu_m$. Osiągane opóźnienia hamowania powodowane działaniem elektromagnetycznego hamulca szynowego:

$$a_m = \frac{H_1 g}{q} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (14)$$

Niezależny od warunków przyczepności hamulec szynowy jako wspomagający może działać wyłącznie przy czynnym hamulcu ciernym. W takim przypadku łączna wartość opóźnienia hamowania $a_h = a_s + a_m$, dzięki czemu uzyskuje się skrócenie drogi hamowania. W częstych przypadkach hamulec szynowy wyłącza się z działania przy zmniejszeniu prędkości do ok. 50 km/h.

Na podstawie podanych związków i założonych wartości ψ_s , μ , można obliczać wstępnie wartości wskaźników hamowności: A , λ i B kolejowych pojazdów szynowych przewidzianych do prędkości nie przekraczających 200 km/h. Wskaźniki te mogą posłużyć do obliczania – ze wzoru (4) – długości dróg hamowania L_h od początkowych prędkości $v_0 = 200$ km/h w niekorzystnych warunkach pogodowych lub w przypadkach zanieczyszczonych szyn.

Przykłady

1. Lokomotywa elektryczna typu Bo-Bo o masie $Q_l = 82$ t ($q = 205$ kN) jest wyposażona w cierny hamulec tarczowy z dwoma tarczami na wale drążonym każdej osi ($n = 4$) oraz w hamulec elektrodynamiczny. W wyniku badań hamulca ciernego w trybie pracy „R” podczas hamowania od $v_0 = 200$ km/h osiągnięto: $L_h = 1965$ m, $a_s = 0,785$ m/s².

Ze wzorów (4) i (8) $\lambda = 135\%$, $A = 32\%$, $B = 111$ t.

Przy przyjęciu $\mu_t = 0,35$, na podstawie $A = 32\%$, $K_t = 16,4$ kN. Omawiana lokomotywa ma koła o średnicy 1,1 m, stąd $r_s = 0,275$ m. Na podstawie obliczonego momentu hamującego $M_{hl} = 6,314$ kNm, wykorzystywana wartość $\psi_s = 0,056$, zaś siła hamująca lokomotywy $F_{hl} = 4 \cdot 205 \cdot 0,056 = 46$ kN.

Według proponowanych obliczeń $K_t = 0,1$; $q = 20,5$ kN; $A = 40\%$; $\lambda = 168\%$.

Stąd $L_h = 1600$ m, $a_s = 0,96$ m/s², $B = 137,7$ t, $\psi_s = 0,07$, $F_{hl} = 57$ kN.

Krótsza droga hamowania oraz większe wartości λ , B i F_{hl} uzyskane według proponowanych obliczeń, w porównaniu z wartościami otrzymanymi podczas badań ruchowych hamulca ciernego przykładowej lokomotywy, wynikają głównie z przyjęcia większej dopuszczalnej wartości $K_t = 20,5$ kN, a nie $K_t = 16,4$ kN, realizowanej podczas badań.

Podczas badań ruchowych omawianej lokomotywy przy wyłączonym działaniu hamulca elektrodynamicznego „RE” osiągnięto $L_{hel} = 1640$ m, $a_s = 0,94$ m/s², stąd $\lambda = 163,7\%$, $B \cong 133$ t.

2. Czteroosiowy wagon osobowy o średnicy kół $D = 0,92$ m o masie $Q_w = 54$ t (wraz z pasażerami) $q = 135$ kN, przewidziany do prędkości 200 km/h jest wyposażony w cierny hamulec tarczowy z trzema tarczami na osi ($n = 6$) oraz w hamulec elektromagnetyczny szynowy.

Według obliczeń, przyjmując $\psi_s/\mu = 0,2$; $K_t = 0,066 \cdot 135 = 8,9$ kN; stąd $A = 40\%$, $\lambda = 168\%$.

Droga hamowania wagonu hamulcem tarczowym od $v_0 = 200$ km/h, $L_h = 1600$ m, $a_s = 0,96$ m/s², jak w lokomotywie, zaś $B = 90,7$ t. W przypadku włączenia do działania hamulca szynowego, przyjmując siłę docisku płozy $P_1 = 90$ kN oraz $\mu_m = 0,04$, siła hamowania tego hamul-

ca $H_1 = 3,6$ kN, stąd według wzoru (14) $a_m = 0,26$ m/s². Przy współdziałaniu obu hamulców $a_h = a_s + a_m = 0,96 + 0,26 = 1,22$ m/s²; stąd $L'_h = 1265$ m, $\lambda = 216\%$, $B' = 116$ t.

Skrócenie drogi hamowania wynosi 21%.

Możliwości określania dróg hamowania wagonów pociągów dużych prędkości i wymaganych wartości K nacisku par ciernych

Wprowadzanie pociągów o dużych prędkościach, złożonych z zespołów trakcyjnych, w których wagony doczepne są wyposażone z reguły w cierne hamulce tarczowe, spowodowało pojawienie się nowych sposobów określania ich hamowności. Na podstawie wyników badań ruchowych, przeprowadzonych w ramach grupy roboczej ORE-B1-126,4 (aktualnie ERRI), stwierdzono, że podczas hamowań od prędkości wyższych niż 150 km/h, średnie wartości opóźnień hamowania a_s maleją około 10% przy stałych wartościach procentów masy hamującej λ . Stwierdzenie to posłużyło do opracowania metody [1] wyznaczania nowych wartości λ , koniecznych dla określenia mas hamujących B . Na podstawie przeprowadzonych obliczeń, obszarem praktycznie liniowej zależności $a_s(v_0)$ dla różnych stałych wartości λ , jest wykres (rys. 4). Przy przyjętej wartości a_s oraz v_0 , odczytuje się z tego wykresu wymaganą wartość λ . Długość L drogi hamowania od v_0 można obliczyć ze wzoru (1) lub odczytać z wykresu $L(v_0)$, przedstawionego na rysunku 5, dla „nowej” wartości λ . Na rysunku 5 nakreślono linią przerywaną krzywe $\lambda = 100\%$ i 200% według wykresu UIC-544 dla prędkości do $v_0 = 200$ km/h. Jest oczywiste, że wartości λ według UIC są mniejsze od „nowych” wartości λ .

Wagon wózkowy o nacisku osi q [kN], przewidziany do jazdy z dużymi prędkościami, jest wyposażony w cierne hamulec tarczowy o dwóch, trzech lub czterech tarczach na osi ($n = 4, 6$ lub 8). Według opisanej metody, przy przyjęciu wartości średniego opóźnienia a_s i najwyższej wartości początkowej prędkości hamowania v_0 [km/h], z wykresu na rysunku 4 odczytuje się wartość λ . Przy założeniu $\mu_t = 0,35$, intensywność hamowania:

$$A = \frac{\lambda}{4,2} \quad [\%]$$

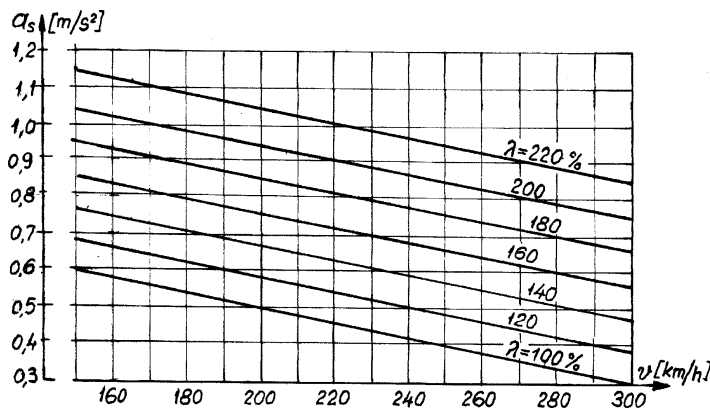
i z niego można obliczać nacisk okładziny ciernej na tarczcie ze wzoru:

$$K_1 = q \frac{A}{100} \cdot \frac{1}{n} \quad [\text{kN}] \quad (15)$$

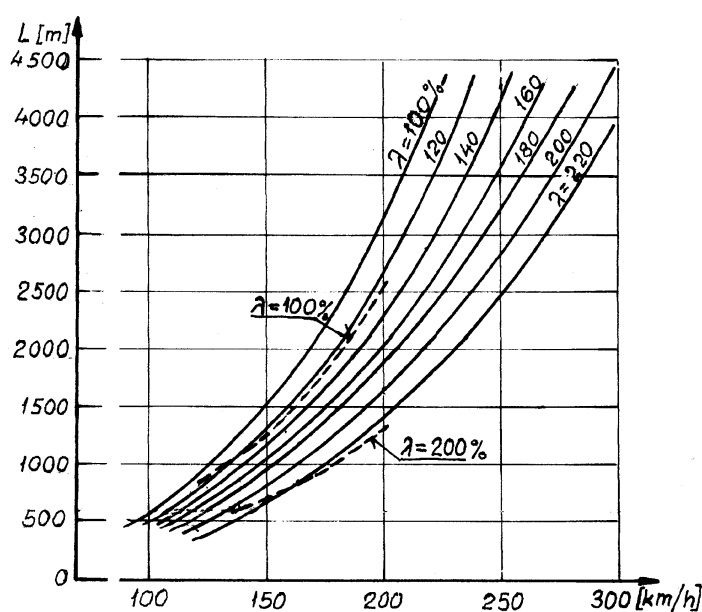
Obliczana wartość K jest podstawą do doboru ciśnienia powietrza w siłowniku hamulcowym oraz do określenia wartości przełożenia dźwigniowej (nożycowej) przekładni hamulcowej. Wykorzystywana wartość współczynnika przyczepności ψ_s (przy przyjęciu $r_s/R = 0,5$) wynosi

$$\psi_s = 0,175 \frac{nK_1}{100} = \frac{A}{100} \quad (16)$$

Według Dokumentu technicznego ERRI B126/DT350 z marca 1997 r. *Wymagania jakie powinny spełniać hamul-*



Rys. 4. Zależności $a_s(v_0)$ dla różnych stałych wartości λ



Rys. 5. Zależność długości drogi hamowania L od prędkości początkowej hamowania v_0 dla różnych wartości λ

ce pociągów do dużych prędkości jazdy, ujęte są w kolejnych tabelach:

Typ hamowania	Minimalne wartości opóźnień hamowania a_{\min} [m/s ²] przy ustalonych wartościach siły hamującej w zakresie prędkości v [km/h]		
	300–230	230–170	170–0
Nagle	1,0	1,15	1,3
Nagle w niekorzystnych warunkach	0,7	0,8	0,9
Normalne służbowe	0,35	0,6	0,6

Typ hamowania	Nieprzekraczalne długości dróg hamowania $L_{h, \max}$ [m] od początkowych prędkości v_0 [km/h]		
	300–0	230–0	170–0
Nagle	3350	1860	1000
Nagle w niekorzystnych warunkach	4690	2590	1380
Normalne służbowe	7660	3530	1950

Przykłady

1. Jeden z pociągów TGV [2] z wagonami doczepnymi o nacisku osi $q = 160$ kN, hamowany hamulcami tarczowymi ($n = 8$) od $v_0 = 260$ km/h przebył drogę $L = 3400$ m, stąd $a_s = 0,767$ m/s². Z wykresu (rys. 4) $\lambda = 181\%$, zaś $A = 43\%$. Obliczona ze wzoru (15) wartość $K_1 = 8,6$ kN, a ze wzoru (16) $\psi_s = 0,075$.

2. Według [3] pociąg *Pendolino* z wagonami doczepnymi o nacisku osi $q = 120$ kN, hamowany hamulcami tarczowymi ($n = 4$) od $v_0 = 250$ km/h, przebył drogę $L = 2700$ m, stąd $a_s = 0,893$ m/s². Z wykresu (rys. 4) $\lambda = 205\%$, $A = 49\%$. Obliczone wartości $K_1 = 14,64$ kN, zaś $\psi_s = 0,086$.

Przedstawione w artykule sposoby obliczania długości dróg hamowania pojazdów pociągów szybkich w niekorzystnych warunkach zewnętrznych oraz wyznaczania wartości mas hamujących B mogą być pomocne przy wstępnym do-

borze parametrów wykonawczego układu hamulców projektowanych lokomotyw i wagonów pasażerskich. □

Literatura

- [1] Braun A.: *Aufstellen von Bremsstafeln für Strecken mit Lienenzugbeeinflussung*. ZEV Gl. Annalen 4/1988.
- [2] Franz P.: *Eisenbahn-Scheibenbremsbeläge für Hochleistungsbremsen*. ZEV Gl. Annalen 4/1988.
- [3] Messerschmidt W.: *Der neue elektrische Triebzug der Italienischen Staatsbahnen Baureihe ETR 450*. ZEV Gl. Annalen 5/1988.
- [4] Romaniszyn Z.: *Indices of Railway Vehicles Braking Ratio and Realations there Between*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, 1988.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN
nr PB 0070/T12/99/17