

Symulacyjna analiza efektywności nastawy hamulca „długa lokomotywa”

W artykule przedstawiono wybrane rezultaty symulacyjnej metody analizy układu hamulcowego pociągu dla nowo wprowadzonej w Polsce nastawy hamulca pociągów towarowych o nazwie „długa lokomotywa” Zaprezentowano wpływ tego nastawienia na drogę hamowania składu pociągu oraz na występujące w pociągu siły wzdłużne.

1. Wstęp

Nastawy hamulca „towarowy” i „osobowy” wykorzystywane są w praktyce kolejowej od wielu dziesiątków lat, różnią się one czasem napełniania cylindrów hamulcowych. Dodatkowo dla hamowania standardowych pociągów osobowych większych prędkości wprowadzono nastawę R, która posiada zwiększoną, w porównaniu z nastawą „osobowy” intensywność hamowania. Nastawy te są jednolite dla wszystkich pojazdów składu pociągu. W 2009 r. do instrukcji eksploatacji hamulców pociągów towarowych przewoźnika CARGO wprowadzono nową nastawę o nazwie „długa lokomotywa”. Prezentowany artykuł dotyczy rozpatrzenia symulacyjnego wpływu ten nastawy na właściwości hamowanego składu pociągu.

2. Metoda analiz

Analiz wpływu nastawienia „długa lokomotywa” dokonano przy pomocy własnej metody symulacyjnej składającej się z kilku części składowych całej symulacji:

- przepływów w przewodzie głównym,
- pracy zaworów hamulcowych i cylindrów hamulcowych,
- charakterystyk ciernych hamulca,
- dynamiki wzdłużnej pociągu obejmującej hamowność pociągu oraz analizy:
 - sił wzdłużnych występujących w modelu pociągu sztywnego
 - sił wzdłużnych występujących wzdłuż pociągu podatnego.

Opis modelu począwszy od przewodu głównego aż po dynamikę pociągu sztywnego został opisany w [1, 2] ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk pneumatycznych i zweryfikowany w [1, 3]. Bardziej szczegółowe rozpatrzenie współczynnika tarcia par ciernych i problem sił wzdłużnych w pociągu podatnym zostały rozwinięte w ostatnich pracach.

Metodę wykorzystującą pomiary doświadczalne zjawisk pneumatycznych w hamulcu połączoną z symulacją komputerową sił wzdłużnych przedstawiono w [4, 5].

Analiza sił wzdłużnych jest zjawiskiem bardzo skomplikowanym, gdyż zależy od rodzaju zderzaków (w wagonach może wystąpić kilka bardzo różnorodnych typów zderzaków w różnorodnych wykonaniach), od amortyzatorów urządzeń pociągowych (także występuje kilka typów), od wielkości luzu w urządzeniach pociągowo zderżnych i w przypadku hamulca klockowego bardzo znacznie od prędkości początku hamowania. Wpływ tak wielu czynników budowy pociągu może powodować, że ogólny wpływ czynnika hamulcowego może być mniej uchwytne. Z tego względu rozwinięto również metodę analizy sił wzdłużnych w pociągu sztywnym. Jest to metoda prostsza, dająca wyniki mogące odbiegać od rzeczywistych w pociągu podatnym. Jednak jej użyteczność dla badacza analityka, zdaniem autora, jest znaczna, gdyż może być punktem wyjściowym do analizy wpływu pneumatyki hamulca na siły wzdłużne w pociągu, by dopiero w kolejnym etapie przejść do analizy urządzeń pociągowo-zderżnych, a na końcu do oceny bezpieczeństwa ruchu.

3. Nastawienie „długa lokomotywa”

Pojęcie „długiej lokomotywy” nie oznacza fizycznie lokomotywy, tylko opisuje specyficzne nastawienie hamulca pociągu, w którym lokomotywa i pierwsze pięć wagonów posiadają nastawienie hamulca „towarowy” a reszta wagonów posiada nastawienie hamulca „osobowy”. Nie jest to sposób prowadzenia specyficzny dla Polski, inne zarządy kolejowe wprowadziły już wcześniej tę nastawę eksploatacyjną. Była ona rozpatrywana w pracach w ramach Raportów i Technicznych Dokumentów UIC (wcześniej Raportów ERRI) B 177 i B 177.1. Brak analiz tego tematu w Polsce skłonił autora do krótkiego przedstawienia omawianego zagadnienia.

Od 2010 r. wg. Instrukcji[6] PKP CARGO obowiązują zmiany (przedstawione poniżej ze znacznymi skrótami):

1. W pociągach towarowych stosuje się zasadniczo nastawienie hamulców P (osobowy), o ile spełnione są warunki podane w ust. 2 i 3. Jeśli choćby jeden z warunków nie jest spełniony, we wszystkich pojazdach pociągu hamulce muszą być nastawione na G (towarowy). Nastawienie G należy stosować również zawsze wtedy, gdy rozkład jazdy podaje takie nastawienie.

2. Długość składu pociągu, w którym stosuje się nastawienie hamulców P, nie może być większa niż 700 m.

3. Jeśli pociąg spełnia warunek podany w ust. 2 i ma kursować z nastawieniem hamulców P, to w zależności od masy składu pociągu oraz zestawienia składu pociągu należy stosować nastawienia hamulców jak w poniższej tabeli:

zapobiec zbytniemu zróżnicowaniu napełniania cylindrów wzdłuż pociągu, czas napełniania pojedynczego wagonu w nastawieniu „towarowy” wynosi 18 – 30s.

Dwoma przeciwstawnymi kryteriami oceny hamowności pociągu jest droga hamowania i wartość maksymalnych sił wzdłużnych. W nastawieniu „towarowy” droga hamowania jest dłuższa, ale poziom sił wzdłużnych znacznie mniejszy. Wartość maksymalnych sił wzdłużnych nie jest możliwa do jednoznacznej oceny, gdyż zależy silnie od długości pociągu, rozłożenia ładunku, rodzaju okładzin ciernych, rodzaju i charakterystyki zderzaków i luzów międzywagonowych, a także od prędkości początku hamowania. Maksymalne siły wzdłużne występują dla

niewielkich prędkości początku hamowania, rzędu 20-30 km/h, gdy nierównomierność wzrostu sił hamujących poszczególnych wagonów nakłada się w przypadku hamulca klockowego z klockami żeliwnymi ze wzrostem współczynnika tarcia dla małych prędkości jazdy. Natomiast wartość drogi hamowania ogranicza maksymalne prędkości jazdy, a każdym przypadku winno być możliwe uzyskanie jej minimalnej wartości. Pociąg może hamować z maksymalną intensywnością z każdej prędkości początkowej i w związku z tym musi spełniać kryteria bezpieczeństwa dla każdej prędkości.

Nastawa „długa lokomotywa” wprowadzane na polskich szlakach kolejowych eliminuje częściowo duże zróżnicowanie czasów napełniania poszczególnych wagonów. W pierwszych wagonach długiego składu (wraz z lokomotywą) nastawienie hamulca

jest „towarowy” zmniejszając początkową zbyt dużą intensywność hamowania tych początkowych wagonów w stosunku do reszty składu, a w reszcie składu nie następuje nadmierne osłabienie hamowności. W niniejszej pracy przedstawiono tylko fragmenty większych rozważań.

4. Analizy nastawienia „długa lokomotywa”

Ze względu na wymagany rozmiar artykułu ograniczono się tylko do analizy hamulca klockowego i jednej wybranej charakterystyki współczynnika tarcia.

Do analiz przyjęto wagony węglarki o długości 14,04 m o długości przewodu głównego 14,28 m (różnica długości jest spowodowana zagięciami PG pod wagonem) o przekroju 1¼” o masie na oś 20t ,czyli całkowitej wagonu 80t. Przy 50 wagonach daje

Tabela 1

I.p.	Masa składu pociągu	Nastawienie hamulców	Zestawienie składu pociągu
1	< 800t	wszystkie P	Dowolne
2	>800t i < 1200 t	wszystkie P	Dowolne, z zachowaniem innych przepisów niniejszej instrukcji
3	>1200 t i <1600 t	pierwsze 5 wagonów - G*, pozostałe wagony - P („długa lokomotywa”)	Jeśli wśród pierwszych 5 wagonów jest wagon wieloczołowy co najmniej 4-osiowy lub wagony (albo inne pojazdy) na stałe sprzęgnięte co najmniej 4-osiowe - należy liczyć każdy człon jak jeden wagon z hamulcem nastawionym na G
4	> 1600 t i <2500 t		W składzie pociągu nie może być żadnych pojazdów wieloczołowych lub na stałe sprzęgniętych pojazdów. W składzie pociągu nie może być żadnego wagonu lub innego pojazdu o masie całkowitej mniejszej niż 32t
5	>2500 t i <4000 t		W składzie pociągu nie może być żadnych pojazdów wieloczołowych lub na stałe sprzęgniętych pojazdów W składzie pociągu nie może być żadnego wagonu lub innego pojazdu o masie całkowitej mniejszej niż 40 t

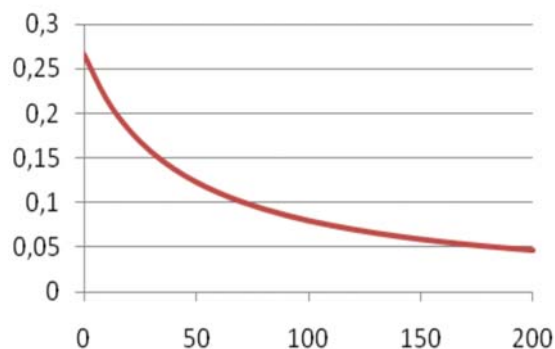
W przypadku zmiany czoła pociągu konieczne jest dokonanie zmiany nastawienia hamulców w pierwszych pięciu i ostatnich pięciu wagonach i ponowne obliczenie masy hamującej pociągu”.

Wprowadzenie tej Instrukcji powoduje pewne utrudnienia w pracy składania pociągu, ale cechuje się polepszeniem hamowności pociągów towarowych.

Sterowanie hamowaniem poprzez obniżenie ciśnienia w PG z powodu skończonej prędkości rozchodzenia się impulsu hamowania (granica jest prędkość dźwięku) oporów przepływu powietrza i innych czynników jest mniej efektywne dla długich pociągów. W nastawieniu osobowym czas napełniania cylindra wynosi 3-5 s i jest ono stosowane przeważnie dla pociągów pasażerskich, a właściwiej dla pociągów krótkich (do 400 m długości). W pociągach dłuższych napełnianie cylindrów hamulcowych jest wolniejsze by

to długość składu ok. 702 m i masę 4000 t, czyli maksymalne wartości dla składu z długą lokomotywą. Pominięto dla przejrzystości nieistotną odmienność długości i masy lokomotywy od parametrów wagonu.

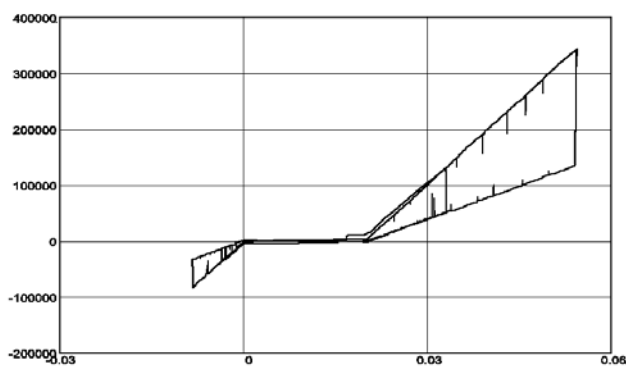
W układzie hamulcowym zastosowano najbardziej rozpowszechnione w Polsce: zawór maszynisty FV4a i zawory rozrządzące Est3f oraz cylindry hamulcowe 16". Zmienność współczynnika tarcia klocków hamulcowych przyjęto wg. funkcji na rys. 1 pomijając zmienność w funkcji nacisków i temperatury.



Rys.1. Zmienność współczynnika tarcia klocka hamulcowego w funkcji prędkości [km/h]

Oprócz przewodu głównego z niewielkimi odgałęzieniami, traktowanego jako standardowy (odgałęzienie jest konieczne w przypadku dwóch końcówek PG na każdej czołownicy), przeanalizowano zastosowane długich odgałęzień spotykanych w praktyce, pogarszających hamowność pociągu.

W przypadku pociągu podatnego zastosowano zderzaki międzywagonowe ze sprężynami pierścieniowymi, bez napięcia wstępnego, z ok. 50% pochłanianiem energii (rys.2).



Rys. 2. Charakterystyka urządzenia pociągowo-zderznego między wagonami 15 i 16 uzyskana po symulacji

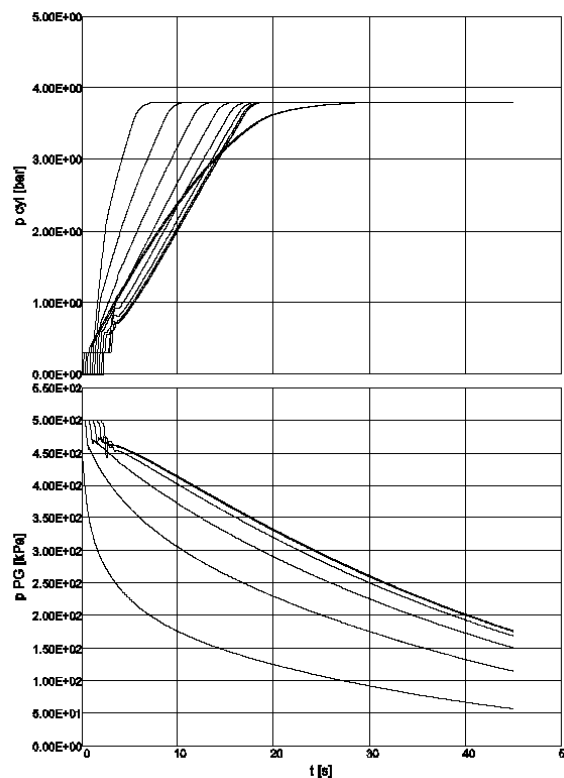
Dla wybranych wariantów składu dokonano również symulacji hamowania z luzami w zderzakach międzywagonowych o wartościach równych 0,02 m. We współczesnych pociągach europejskich taki luz nie powinien wystąpić, symulację tę przedstawiono dla wskazania możliwości pogorszenia właściwości pociągu.

Przykładowy przebieg symulacji przedstawiono na rys. 3 i 4. Wszystkie warianty wyników zaprezentowano w tabeli 2 i 3. Wyniki nr 1 i 2 w tabeli 2 przedstawiają hamowania pojedynczych wagonów ze 100 km/h. Widoczna jest różnica dróg hamowania ok. 200 m między nastawieniem hamulca „osobowy” i „towarowy”. W reszcie tabeli 1 przedstawiono wyniki symulacji różnych nastaw pociągu 700m, 4000t (graniczna wielkość składu z nastawą „długa lokomotywa”). Różne czasy napełniania cylindrów przedstawiono w poz. 3, 4, i 5.

Charakterystyczne dla nastawienia „długa lokomotywa” jest, że spowolnienie napełniania cylindrów pierwszych pojazdów powoduje powstania chwilowych sił wzdłużnych rozciągających (oznaczonych znakiem ujemnym), co w bilansie całego przebiegu sił wzdłużnych powoduje, że przednia część długości pociągu nie wywołuje powstania nadmiernych sił wzdłużnych.

W pociągu długim (np. ponad 700 m długości) opóźnienie napełniania cylindrów końca pociągu jest większe i efekt skrócenia drogi hamowania w nastawieniu „długa lokomotywa” jest mniejszy.

Przeanalizowano również skład pociągu o masie 2400t zbliżony do maksymalnej masy składu z poz. 4 tabeli 1. Wyniki przedstawiono w tabeli 3 i na rys. 5. Nastawienie „długa lokomotywa” dla krótszego składu powoduje powstanie kilkukrotnie mniejszych sił ściskających, niż dla nastawienia „osobowy” utrzymując niewiele większe drogi hamowania.



Rys. 3. Przebieg ciśnień w przewodzie głównym i cylindrach hamulcowych pociągu 700m, 4000t w nastawieniu „długa lokomotywa”. Przedstawiono wyniki dla co 5 wagonu

Tabela 2.

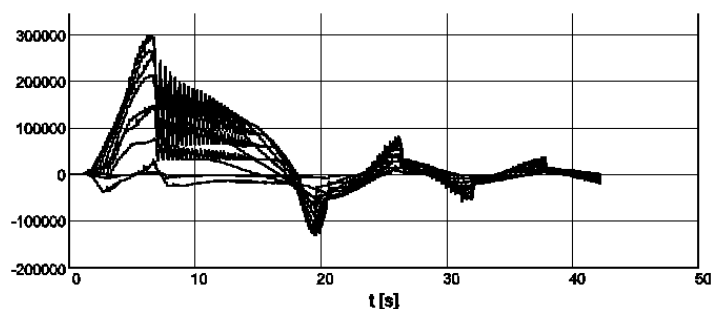
Wyniki symulacji hamowania składu pociągu 700m, 50 wagonów o masie całkowitej 4000t

Nr	v pocz [km/h]	nastawy	droga hamowania	Max. siła międzywagonowa [kN] dla modelu pociągu sztywnego	Max. siła międzywagonowa [kN] pociąg ze zderzakami ze sprężynami pierścieniowymi bez luzu, ściskanie/rozciąg.	Max. siła międzywagonowa [kN], zderzaki z luzem 0,02m, ściskanie/rozciąganie
1	100	pojedynczy wagon tow nagłe	818,7	-	-	
2	100	pojedynczy wagon, nast. osob, nagłe	625,1	-	-	
3	100	tow nagłe	880,8	48,4	94,7	
4	100	osob nagłe	743,3	305,4	473,5/ -181,7	473,5/ -187,4
5	100	długa lokom, nagłe	773,4	183,8	293,3/ -122,5	398,9/ -110,0
6	100	długa lokomotywa długie odgał, nagłe	856,6	212,8	278,5/ -99,0	278,5/ -99,0
		towarowy długie odgał, nagłe	895,6	145,2	151,7	
7	100	towarowy, służ- bowe	1051,5	56,8	101,9	
8	100	osobowy, służ- bowe	1051,5	57,9	102,3	
9	100	długa lok, służ- bowe	1052,7	56,9	102,5	
	25	długa lok, nagłe	60,3	427,1	653,0/-87,3	
	25	długa lok, długie odgał, nagłe	70,76	618,8	591,0	
	25	osobowy, nagłe	55,33	639,5	1213,5	
	25	osobowy, długie odgał, nagłe	63,98	762,4	971,7	

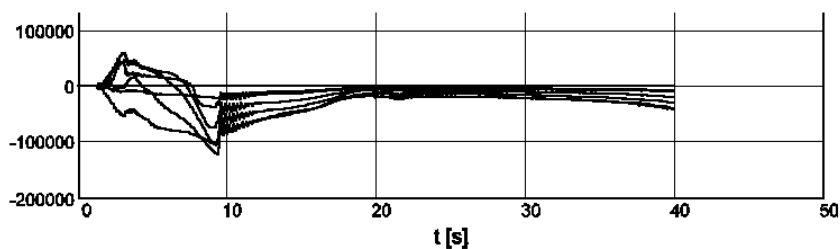
Tabela 3.

Droga hamowania i maksymalne siły wzdłużne w pociągu 30-wagonowym o długości 434m i masie 2400 t

Nr	v pocz [km/h]	nastawy	droga ham	siła międzywagonowe [kN] , pociąg zderzaki ze sprężynami pierścieniowymi bez luzu, ściskanie/rozciąganie
1	100	towarowy, nagłe	865,6	32,3
2	100	osobowy, nagłe	667,27	195,1/ -89,1
3	100	długa lokomotywa, nagłe	708,5	69,6/ -126,9
4	25	towarowy, nagłe	72,6	68,2
5	25	osobowy, nagłe	42,85	430,2
6	25	długa lokomotywa, nagłe	48,6	128,9/ -301,9



Rys. 4. Siły wzdłużne w pociągu 700m, 4000t w nastawieniu „długa lokomotywa” ze zderzakami ze sprężynami pierścieniowymi bez luzu, hamowanie nagłe ze 100 km/h



Rys. 5. Siły wzdłużne w symulacji hamowania składu pociągu, 30-wagonowym o długości 434 m, masie całkowitej 2400t hamowanego z 100 km/h, nastawienie „długa lokomotywa”. Wyniki dla co 5 wagonu

5. Podsumowanie

Zaprezentowane bardzo skrótowo analizy pozwalają stwierdzić, że maksymalna długość pociągu 700 m dla nastawienia „długa lokomotywa” jest prawidłowa. Dla dłuższych pociągów (nie prezentowanych w artykule) z powodu spowolnienia zjawisk pneumatycznych (opóźnienie reakcji hamulca w końcu pociągu) stosowane tej nastawy nie byłoby celowe. Korzyści ze stosowania nastawy „długa lokomotywa” dla pociągów krótszych są bardziej ewidentne (tab. 3 i rys. 5). Pozwala to na uzyskanie niewielkich sił wzdłużnych przy tylko nieznacznym wydłużeniu drogi hamowania w stosunku do nastawienia „osobowy” i bardzo korzystnym zbliżonym do symetrycznego rozłożeniu sił wzdłużnych.

Zaletą omawianego nastawienia jest opóźnienie wzrostu siły hamowania w pierwszych wagonach w porównaniu z resztą pociągu powodujące powstanie sił rozciągających w przedniej części pociągu zamiast ściskających, co wywołuje proporcjonalne zmniejszenie maksymalnych sił ściskających

Znacznemu skróceniu ulega droga hamowania. Jest ona bardziej ewidentna dla pociągu krótszego (np. 30 wagonów), niż dla pociągu 50 wagonowego (maksymalna wielkość pociągu z nastawieniem „długa lokomotywa”)

Literatura

- [1] Piechowiak T., *Badanie i modelowanie procesów zachodzących w układach pneumatycznych pociągów*. Politechnika Poznańska, Rozprawy Nr 414, 2007, s. 155. Rozprawa habilitacyjna
- [2] Piechowiak T., *Pneumatic train brake simulation method*. *Vehicle System Dynamics*, V. 47, Issue 12, December 2009, pp. 1473 – 1492.
- [3] Piechowiak T., *Verification of the pneumatic railway brake models*. *Vehicle System Dynamics*, Volume 48, Issue 3, March 2010, pp. 283 – 299
- [4] Piechowiak T., *Wpływ wybranych parametrów układu hamulcowego na bezpieczeństwo jazdy pociągów towarowych*, Politechnika Poznańska 1985, s. . Praca doktorska
- [5] Schmidt S., Heine Ch., Nock M., Walter M., *Beherrschung von Längskräften in sehr langen Güterzügen*. *ZEVrail* 133(2009), pp. 358-364
- [6] *Instrukcja obsługi i utrzymania w eksploatacji hamulców taboru kolejowego*. PKP CARGO, ze zmianami w 2009 r.