prof. dr hab. inż. Włodzimierz Gąsowski
Politechnika Poznańska
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR"
mgr inż. Michał Maluśkiewicz
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR"

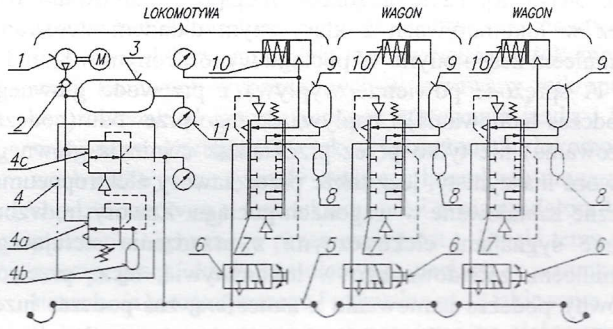
Analiza wymagań stawianych przez przepisy międzynarodowe układom sterowania hamulcem zespolonym pociągu

W pracy przedstawiono układ umożliwiający sterowanie hamulcem zespolonym pociągu za pośrednictwem sygnałów elektrycznych. Przeanalizowano jego strukturę, sposób działania i wartość parametrów spełniających wymagania przepisów UIC.

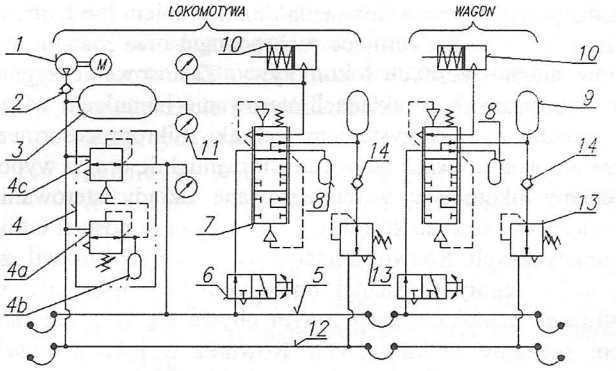
1. Wprowadzenie

Hamulec zespolony pociągu tworzą układy hamulcowe poszczególnych jego pojazdów połączone szeregowo przewodem pneumatycznym zwanym przewodem głównym, zasilane sprężonym powietrzem i sterowane z lokomotywy prowadzącej pociąg. Sterowanie hamulcem zespolonym polega na doprowadzeniu go do stanu gotowości do pracy (to jest napełnienie przewodu głównego oraz zbiorników sterujących i pomocniczych sprężonym powietrzem o ciśnieniu nominalnym), a następnie na utrzymywaniu w przewodzie głównym ciśnienia o wartości właściwej dla funkcji, którą ma realizować ten hamulec. Zadania te wykonuje układ sterowania hamulcem zespolonym, stanowiący zespół urządzeń zabudowanych w lokomotywie służących do wyznaczania, utrzymywania i kontroli ciśnienia sprężonego powietrza w przewodzie głównym. W układach hamulca zespolonego pociągu, pokazanych schematycznie na rys. 1 i 2, układ sterowania tworzą główny zawór maszynisty (poz. 4) i manometry (poz. 11) umożliwiające kontrolę ciśnienia w zbiorniku głównym lokomotywy (poz. 3) i ciśnienia panującego w przewodzie głównym (poz. 5). W układach hamulcowych stosowanych z reguły w pociągach osobowych i towarowych (rys. 1) główny zawór maszynisty i przewód główny służą nie tylko do sterowania hamulcem. Tą drogą odbywa się też zasilanie sprężonym powietrzem zbiorników pomocniczych (poz. 9). W układach hamulcowych pociągów pośpiesznych (rys. 2) funkcje zasilania i sterowania są rozdzielone. Powietrze sprężone ze zbiornika głównego (poz. 3) napływa do układów hamulcowych poszczególnych wagonów przewodem zasilającym (poz. 12), biegnącym wzdłuż pociągu i połączonym ze zbiornikami pomocniczymi (poz. 9) za pośrednictwem zaworów redukcyjnych (poz. 13) i zwrotnych (poz. 14); w ten sposób odbywa się zasilanie układu hamulcowego. W układzie hamulcowym z przewodem zasilającym główny zawór maszynisty (poz. 4) i przewód główny (poz. 5) służą tylko do sterowania hamulcem.

W przykładowym rozwiązaniu głównego zaworu maszynisty (rys. 1 i 2 poz. 4) wartość ciśnienia w przewodzie głównym wyznacza regulator ciśnienia (poz. 4a) umożliwiający nastawienie żądanej wartości ciśnienia w komorze sterującej (poz. 4b) za pomocą dźwigni sterującej głównego zaworu maszynisty. Przekładnik ciśnienia (poz. 4c) sterowany ciśnieniem w komorze sterującej napełnia przewód główny sprężonym powietrzem i utrzymuje w nim ciśnienie w przybliżeniu równe ciśnieniu panującemu w tej komorze. Sterowanie hamulcem w tym układzie odbywa się więc w sposób manualny (za pomocą dźwigni ustawianej ręcznie przez maszynistę) i na drodze pneumatycznej (przekładnik ciśnienia sterowany jest analogowym sygnałem ciśnieniowym generowanym przez regulator ciśnienia). Układ sterowania hamulcem umożliwiający sterowanie manualne za pośrednictwem sygnałów pneumatycznych określony jest w tej pracy jako układ klasyczny.



Rys. 1. Schemat ideowy klasycznego układu hamulca zespolonego pociągu; 1 – sprężarka główna, 2 – zawór zwrotny, 3 – zbiornik główny, 4 – układ głównego zaworu maszynisty, 4a – regulator ciśnienia, 4b – komora sterująca, 4c – przekładnik ciśnienia, 5 – przewód główny, 6 – wyłącznik hamulca, 7 – zawór rozrządczy, 8 – zbiornik sterujący, 9 – zbiornik pomocniczy, 10 – cylinder hamulców, 11 – ciśnieniomierz



Rys. 2. Schemat ideowy układu hamulca zespolonego z przewodem zasilającym; 1 – sprężarka główna, 2 – zawór zwrotny, 3 – zbiornik główny, 4 – układ głównego zaworu maszynisty, 4a – regulator ciśnienia, 4b – komora sterująca, 4c – przekładnik ciśnienia, 5 – przewód główny, 6 – wyłącznik hamulca, 7 – zawór rozrządczy, 8 – zbiornik sterujący, 9 – zbiornik pomocniczy, 10 – cylinder hamulcowy, 11 – ciśnieniomierz, 12 – przewód zasilający, 13 – zawór redykcyjny, 14 – zawór zwrotny

W układach sterowania hamulcem współczesnych lokomotyw coraz większą rolę odgrywają sygnały elektryczne. Klasyczne układy sterowania hamulcem uzupełnione są sterowanymi elektrycznie urządzeniami uruchamiającymi hamowanie nagłe bez udziału maszynisty. Urządzenia te wywołują hamowanie nagłe przerywając wzbudzenie odpowiednich zaworów elektropneumatycznych:

- na sygnał elektryczny z wyłącznika ciśnieniowego sterowanego ciśnieniem w przewodzie głównym, jeżeli maszynista nie zareaguje na spadek ciśnienia w tym przewodzie spowodowany użyciem w pociągu hamulca bezpieczeństwa lub awaryjną utratą szczelności przewodu głównego,
- na sygnał elektryczny z urządzeń kontrolujących czujność maszynisty, w przypadku braku jego reakcji na sygnał świetlny i akustyczny pochodzący z tych urządzeń,
- na sygnał przesłany drogą radiową przez system nadzorujący ruch pociągów (radiostop).

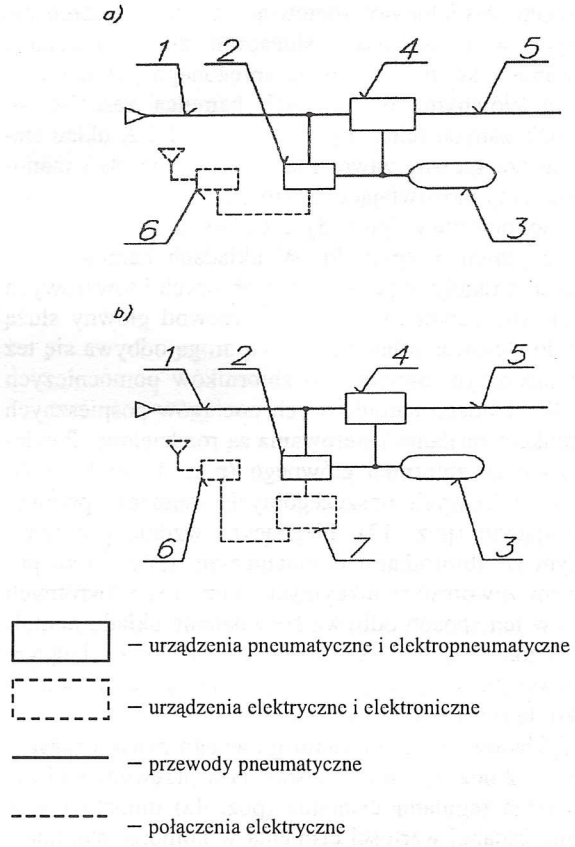
Sygnały elektryczne do sterowania hamulcem stosuje się w lokomotywach wyposażonych w urządzenia do sterowania hamulcem elektropneumatycznym typu automatycznego (hamulcem EP-A), czyniącym zadość wymaganiom karty UIC 541-5 [5]. Takie urządzenia mogą być montowane również w lokomotywach z klasycznym układem sterowania hamulcem zespolonym. W pociągu wyposażonym w hamulec EP-A sprężone powietrze wypływa z przewodu głównego (podczas hamowania) i napływa do tego przewodu (podczas luzowania) nie tylko przez przekładnik ciśnienia głównego zaworu maszynisty, lecz także przez zawory elektropneumatyczne zabudowane w wagonach pociągu. Zawory te, wzbudzane sygnałami elektrycznymi z urządzenia sterującego hamulcem, zabudowanego w lokomotywie, łączą przewód główny podczas hamowania z atmosferą, zaś podczas luzowania – ze zbiornikami pomocniczymi poszczególnych wagonów. Zawory te pozostają otwarte dopóty, dopóki ciśnienie w przewodzie głównym nie osiągnie wartości nastawionej głównym zaworem maszynisty.

Sygnały elektryczne znalazły jeszcze szersze zastosowanie w układach sterowania hamulcem zespolonym w pociągach o zwiększonej prędkości jazdy. Występuje w nich potrzeba wdrażania sygnałami elektrycznymi nie tylko hamowania nagłego lecz także hamowania służbowego przez układ automatycznego sterowania jazdą i hamowaniem lub bardziej złożone systemy nadzorujące ruch pociągu oraz rozwój systemów diagnostycznych lokomotywy. Zastosowanie sygnałów elektrycznych w układach sterowania hamulcem wiąże się ponadto z wykorzystaniem techniki mikroprocesorowej także w lokomotywach sterowanych manualnie oraz z wyposażeniem lokomotyw w zintegrowane układy sterowania hamulcami i rozrządu sprężonego powietrza w postaci tablic pneumatycznych. Rozwój układów hamulcowych sprawił, że obecnie z reguły w każdej nowobudowanej lokomotywie sterowanie hamulcem zespolonym obywa się za pośrednictwem sygnałów elektrycznych. Również w lokomotywach poddawanych głębokiej modernizacji klasyczne układy sterowania hamulcem zespolonym zastępuje się układami sterującymi za pomocą sygnałów elektrycznych.

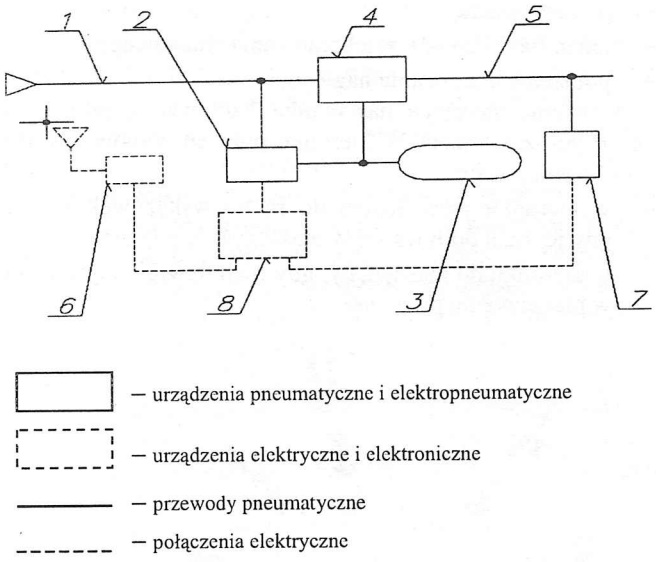
Układ sterowania hamulcem zespolonym za pośrednictwem sygnałów elektrycznych jest to układ, w którym wartość ciśnienia w komorze sterującej przekładnikiem napełniającym przewód główny określa przetwornik prąd/ ciśnienie (elektropneumatyczny regulator ciśnienia) sterowany sygnałami elektrycznymi.

Układy sterowania hamulcem zespolonym za pośrednictwem sygnałów elektrycznych można podzielić na dwie grupy:

1. Układy elektropneumatycznego sterowania hamulcem zespolonym. Są to układy, w których sygnały elektryczne sterujące przetwornikiem prąd / ciśnienie (rys. 3 poz. 2) generowane są przez elektryczny manipulator hamulca (poz. 6). Docierają one do przetwornika bezpośrednio lub poprzez dekoder (poz. 7). Przekładnik ciśnienia (poz. 4) utrzymuje w przewodzie głównym (poz. 5) ciśnienie o wartości nastawionej manipulatorem hamulca. Z punktu widzenia automatyki są to układy otwarte (bez sprzężenia zwrotnego).
2. Układy mikroprocesorowego sterowania hamulcem zespolonym, w których elektryczne sygnały sterujące przetwornikiem prąd/ ciśnienie (rys. 4 poz. 2) pochodzą z mikroprocesorowego sterownika hamulca zespolonego (poz. 8). Sygnały te generowane są przez sterownik (poz. 8) na podstawie sygnałów (również elektrycznych) z manipulatora hamulca (poz. 6) i z uwzględnieniem informacji o ciśnieniu panującym w przewodzie głównym, pochodzącej z przetwornika pomiarowego ciśnienie/ prąd (poz. 7) zabudowanego na tym przewodzie. Z punktu widzenia automatyki układy tej grupy są układami sterowania ze sprzężeniem zwrotnym (zamkniętymi).



Rys. 3. Schemat blokowy układu elektropneumatycznego sterowania hamulcem zespolonym pociągu; a) odmiana bez dekodera, b) odmiana z dekoderem, 1 – przewód zasilający, 2 – przetwornik prądu / ciśnienie, 3 – komora sterująca, 4 – przekładnik ciśnienia, 5 – przewód główny, 6 – manipulator hamulca, 7 – dekoder



Rys. 4. Schemat blokowy układu mikroprocesorowego sterowania hamulcem zespolonym: 1 – przewód zasilający, 2 – przetwornik prądu / ciśnienie, 3 – komora sterująca, 4 – przekładnik ciśnienia, 5 – przewód główny, 6 – manipulator hamulca, 7 – przetwornik pomiarowy ciśnienie / prąd, 8 – mikroprocesorowy sterownik hamulca zespolonego

Powszechne stosowanie sygnałów elektrycznych do sterowania hamulcem zespolonym w nowobudowanych i modernizowanych lokomotywach wynika z następujących zalet takich układów sterowania i możliwości wynikających z ich zastosowania:

- Sterowanie hamulcem zespolonym pociągu za pośrednictwem sygnałów elektrycznych umożliwia uzyskanie korzystniejszych parametrów pracy tego hamulca, niż w przypadku sterowania nim za pomocą układu klasycznego. Kształtując odpowiednio sygnały z mikroprocesorowego sterownika hamulca (rys. 4 poz. 8), można wyeliminować histerezę właściwą zaworom maszynisty. Przez zamierzone zróżnicowanie wartości ciśnienia w przewodzie głównym odpowiadających danemu nastawieniu manipulatora (rys. 4 poz. 6) w warunkach hamowania i luzowania można podczas hamowań służbowych minimalizować skutki histerezy zaworów rozrządczych, a nawet ograniczyć skutki histerezy mechanicznych urządzeń wykonawczych hamulca ciernego. Wprowadzając do pamięci sterownika (rys. 4 poz. 8) informacje o pociągu prowadzonym lokomotywą, można różnicować przebiegi ciśnienia w przewodzie głównym w funkcji długości pociągu, nastawienia jego hamulca („Osobowy" albo „Towarowy") i sposobu zasilania sprężonym powietrzem zbiorników pomocniczych (z przewodu zasilającego albo tylko z przewodu głównego).
- Sterowanie hamulcem za pośrednictwem sygnałów elektrycznych stwarza dogodne warunki dla diagnostyki układu hamulcowego. Elektryczne sygnały sterujące są łatwe do identyfikacji przez układ diagnostyczny zaś informacja o ciśnieniu w przewodzie głównym z przetwornika (rys. 4 poz. 7) może być wykorzystywana również przez ten układ. Odpowiednio rozbudowany mikroprocesorowy sterownik hamulca (rys. 4 poz. 8) stwarza możliwość automatycznego przeprowadzania prób układu hamulcowego i może współdziałać z dowolnym systemem diagnostycznym lokomotywy (również z systemem zapewniającym ciągłą , automatyczną diagnostykę układu hamulcowego, niezbędnym w lokomotywach na duże prędkości jazdy).
- Wyposażenie lokomotywy w układ elektropneumatycznego lub mikroprocesorowego sterowania hamulcem zespolonym ułatwia zaprojektowanie stanowisk maszynisty zgodnie z zasadami ergonomii i wymaganiami określonymi w karcie UIC 651 [7]. Sprzyjają temu niewielkie z reguły rozmiary elektrycznych manipulatorów hamulca oraz radykalne (w porównaniu z klasycznym układem sterowania) uproszczenie instalacji pneumatycznej w kabinie maszynisty; urządzenia pneumatyczne i elektropneumatyczne takich układów sterowania hamulcem zabudowuje się na tablicy pneumatycznej w przedziale maszynowym lokomotywy.
- Sterowanie hamulcem za pośrednictwem sygnałów elektrycznych jest warunkiem koniecznym współpracy lokomotywy z nowoczesnymi systemami nadzorującymi ruch pociągu. Systemy takie, w celu zmniejszenia nadmiernej prędkości jazdy pociągu, wdrażają hamowanie służbowe za pośrednictwem sygnałów z urządzeń zabudowanych na szlaku lub sygnałów przesyłanych drogą radiową.
- Sterowanie hamulcem zespolonym za pośrednictwem sygnałów elektrycznych jest też niezbędne w lokomotywach liniowych wyposażonych w sterowany mikroprocesorowo układ automatycznego sterowania jazdą i hamowaniem pociągu. W tak wyposażonych lokomotywach elektryczne sygnały sterujące hamulcem mogą pochodzić zarówno z tego układu jak i z manipulatora hamulca obsługiwanego przez maszynistę. Dzięki temu parametry pracy układu hamulcowego pociąga w warunkach sterowania automatycznego i manualnego są takie same.
- Lokomotywę manewrową wyposażoną w elektropneumatyczny lub mikroprocesorowy układ sterowania hamulcem łatwo przystosować do zdalnego sterowania jazdą i hamowaniem za pośrednictwem sygnałów przekazywanych drogą radiową. Aby hamulec pociąga prowadzonego taką lokomotywą mógł być sterowany zdalnie wystarczy zabudować w lokomotywie urządzenie pośredniczące, którego rola polega na przekształcaniu sygnałów docierających do lokomotywy drogą radiową w sygnały elektryczne sterujące hamulcem zespolonym pociągu. Prowadzenie prac manewrowych lokomotywowni sterowanymi zdalnie przynosi następujące korzyści:
  - zmniejszenie zatrudnienia niezbędnego do wykonywania tych prac,
  - możliwość wyeliminowania pracy maszynistów w warunkach niebezpiecznych uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia,
  - poprawę organizacji pracy podczas manewrów wymagających ścisłej koordynacji przemieszczania wagonów z funkcjonowaniem urządzeń technologicznych.

W Polsce nie ma dotąd opracowań teoretycznych oraz wykonanych na ich podstawie konstrukcji układów sterowania hamulcem.

Zalety układów sterowania hamulcem zespolonym pociągu za pośrednictwem sygnałów elektrycznych i możliwości związane z ich zastosowaniem w lokomotywach uzasadniają potrzebę opracowania i wdrożenia takiego układu sterowania.

2. Wymagania dotyczące układów sterowania hamulcem zespolonym pociągu

Aby układ umożliwiający sterowanie hamulcem zespolonym pociągu za pośrednictwem sygnałów elektrycznych mógł być stosowany w lokomotywach, jego struktura, sposób działania i wartości parametrów pracy powinny czynić zadość wymaganiom przepisów Międzynarodowego Związku Kolei (UIC). Najistotniejsze wymagania związane z układem sterowania hamulcem zespolonym ujęte są w następujących dokumentach:

- w karcie UIC 540 [2] zawierającej ogólne wymagania dla hamulców pneumatycznych pociągów osobowych i towarowych,
- w karcie UIC 541-03 [3] dotyczącej układu głównego zaworu maszynisty,
- w karcie UIC 541-1 [4] dotyczącej różnych części hamulca (m.in. przyspieszaczy hamowania nagłego),
- w karcie UIC 541-5 [5] poświęconej hamulcowi elektropneumatycznemu typu automatycznego i elektropneumatycznemu mostkowaniu hamulca bezpieczeństwa,
- w karcie UIC 544-2 [6] określającej zasady współdziałania pneumatycznego hamulca zespolonego z hamulcami dynamicznymi pojazdów trakcyjnych.
- w karcie UIC 651 [7] dotyczącej ukształtowania kabin maszynisty pojazdów trakcyjnych.

Spośród tych kart podstawowe znaczenie dla układu sterowania hamulcem mają karty oznaczone numerami 541-03 i 540. Pierwsza z nich zawiera wymagania dla klasycznego układu sterowania hamulcem, z których większość obowiązuje także wtedy, gdy w sterowaniu pośredniczą sygnały elektryczne. Druga karta dotyczy przede wszystkim zaworów rozrządczych, które sterowane sygnałami pneumatycznymi generowanymi przez układ sterowania hamulcem spełniają w poszczególnych wagonach pociągu funkcje hamulca odpowiadające tym sygnałom.

3. Analiza wymagań stawianych układom sterowania hamulcem zespolonym

3.1. Struktura układu sterowania hamulcem

Zgodnie z [3] układ głównego zaworu maszynisty powinien składać się:

- z co najmniej jednego nastawnika hamowania obsługiwanego przez maszynistę,
- z urządzenia przekaźnikowego (przekładnika ciśnienia) napełniającego sprężonym powietrzem przewód główny,
- z dodatkowych urządzeń kontrolnych.

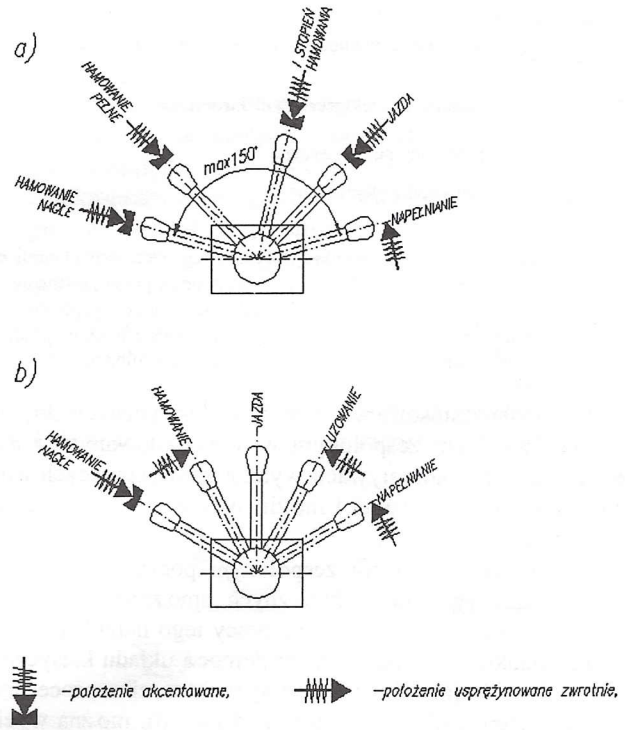
Z pracy tej wynika, że nastawnik hamowania i urządzenie przekaźnikowe mogą tworzyć jeden aparat (główny zawór maszynisty).

Zaleca się, aby nastawnik hamowania wyposażony był w dźwignię sterującą osadzoną na osi obrotowej. Dźwignia ta może poruszać się w płaszczyźnie poziomej albo w płaszczyźnie pionowej, przy czym pionowa płaszczyzna ruchu dźwigni jest preferowana jako bardziej ergonomiczna. Nastawnik hamowania winien mieć cztery główne położenia dźwigni sterującej (rys. 5):

- położenie napełniania
- położenie jazdy,
- jedno lub kilka położeń hamowania służbowego,
- położenie hamowania nagłego.

Dźwignia sterująca nastawnika hamowania, poruszając się od położenia jazdy w kierunku położeń hamowania, powinna poruszać się:

- w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, gdy jej ruch odbywa się w płaszczyźnie poziomej,
- w kierunku do maszynisty, gdy ruch dźwigni odbywa się w płaszczyźnie pionowej.



– położenie akcentowane, – położenie usprężynowane zwrotne

Rys. 5. Położenia dźwigni sterującej nastawnika hamowania; a) nastawnik o działaniu manometrycznym z dźwignią sterującą, poruszającą się w płaszczyźnie pionowej, b) nastawnik o działaniu impulsowym

Ze względu na sposób sterowania hamowaniem służbowym rozróżnia się nastawniki hamowania o działaniu manometrycznym i nastawniki o działaniu impulsowym. Wartość ciśnienia w przewodzie głównym wyznaczona nastawnikiem pierwszej odmiany zależy od położenia, jakie zajmuje jego dźwignia sterująca w obrębie kąta wyznaczonego przez położenia pierwszego stopnia hamowania i hamowania pełnego. Ciśnienie w przewodzie głównym wyznaczone za pomocą drugiej odmiany nastawnika zależy od czasu pozostawania jego dźwigni sterującej w położeniu hamowania albo położeniu luzowania hamulca. Do sterowania hamulcem mogą być używane alternatywnie obie odmiany nastawnika.

W nastawniku o działaniu manometrycznym ustawienie jego dźwigni sterującej w położeniach jazdy, pierwszego stopnia hamowania służbowego, hamowania pełnego, hamowania nagłego powinno być akcentowane. Pozycja napełniania winna być usprężynowana zwrotnie zaś hamowanie nagłe powinno być inicjowane w wyniku dosunięcia dźwigni do odbijaka. Nastawnik tej odmiany powinien umożliwiać odcięcie dopływu powietrza do przewodu głównego w wyniku

ustawienia jego dźwigni sterującej w dodatkowej pozycji zwanej pozycją neutralną. Można też użyć do tego celu specjalnego urządzenia odcinającego pod warunkiem, że po jego użyciu będzie można w każdej chwili wdrożyć hamowanie (np. za pomocą zaworu hamulca bezpieczeństwa zabudowanego na stanowisku maszynisty).

W nastawniku o działaniu impulsowym podstawową pozycją jego dźwigni sterującej jest pozycja neutralna. W tym nastawieniu układ zaworu maszynisty utrzymuje ciśnienie w przewodzie głównym na poziomie uprzednio ustalonym. Dźwignia sterująca nastawnika w położeniach hamowania, luzowania i napełniania powinna być usprężynowana zwrotnie, zaś wymagania dotyczące pozycji hamowania nagłego są takie same jak dla nastawnika o działaniu manometrycznym.

Układ zaworu maszynisty powinien umożliwić zainicjowanie hamowania nagłego przez bezpośrednie, mechaniczne otwarcie dużego przekroju łączącego przewód główny z atmosferą. Należy też przewidzieć możliwość zamknięcia układu zaworu maszynisty odejmowalnym kluczem, gdy układ ten jest odcięty od przewodu głównego.

W przypadku wystąpienia zakłóceń w funkcjonowaniu nastawnika hamowania, urządzenie przekaźnikowe zaworu maszynisty nie może podwyższyć ciśnienia w przewodzie głównym. Zanik sygnału sterującego urządzeniem przekaźnikowym powinien spowodować hamowanie.

Zgodnie z [7] nastawnik hamulca powinien być zabudowany po prawej stronie stanowiska maszynisty. Jeżeli dźwignia sterująca tego nastawnika obraca się względem osi poziomej i prostopadłej do osi wzdłużnej pojazdu trakcyjnego, to jej kąt obrotu pomiędzy położeniami skrajnymi nie powinien przekraczać 150°. W pojazdach trakcyjnych na duże prędkości, w których nastawnik jazdy wyposażony jest w dźwignię sterującą, należy przewidzieć dodatkowe położenie tej dźwigni umożliwiające wdrożenie hamowania nagłego. Powinno to być położenie skrajnie tylne (w kierunku maszynisty), wyraźnie akcentowane i oddzielone od pozostałych pozycji dźwigni nastawnika jazdy.

Karta UIC [3] wymaga, aby układy zaworu maszynisty, w których zdolność przepustowa przekładnika ciśnienia realizującego stan gotowości hamulca w nastawieniu jazdy jest większa od określonej w tej karcie, wyposażyć w dodatkowe urządzenie kontrolne. Winno ono sygnalizować zwiększone natężenie przepływu powietrza z przewodu zasilającego przez przekładnik do przewodu głównego wywołane zbyt dużymi nieszczelnościami w przewodzie głównym. Jeżeli w takim układzie zaworu maszynisty wystąpi zwiększone natężenie przepływu, to zaleca się aby odpowiednie urządzenie samoczynnie ograniczyło zdolność przepustową przekładnika do poziomu wymaganego w stanie gotowości albo spowodowało przerwanie dopływu powietrza do przewodu głównego. Działanie tego urządzenia prowadzi do wdrożenia w takiej sytuacji hamowania nagłego.

Kolejne dodatkowe urządzenia w układzie głównego zaworu maszynisty wymagane przez [3] powinny umożliwić sterowanie za pomocą nastawnika hamulca również hamulcami elektropneumatycznym i dynamicznym.

W powyższym zapisie pod pojęciem hamulca elektropneumatycznego należy rozumieć hamulec elektropneumatyczny typu automatycznego (hamulec EP-A), zgodny z wymaganiami karty UIC [5]. Przepisy UIC nie dotyczą bowiem hamulca elektropneumatycznego typu bezpośredniego (hamulca EP-B), stosowanego z reguły w zespołach trakcyjnych.

Układ sterowania hamulcem EP-A tworzą urządzenia zabudowane w lokomotywie prowadzącej pociąg i w poszczególnych wagonach tego pociągu połączone ze sobą przewodami elektrycznymi biegnącymi magistralą elektryczną (busem pociągu). Zawory elektropneumatyczne hamulca EP-A w wagonach pociągu powinny być zasilane prądem z baterii lokomotywy. Do sterowania wzbudzeniem tych zaworów należy użyć manostatu umożliwiającego porównanie ciśnienia wyznaczonego nastawnikiem hamulca z ciśnieniem panującym w przewodzie głównym. Do momentu zrównania tych dwóch ciśnień powinny być wzbudzone zawory elektropneumatyczne hamulca EP-A zabudowane w wagonach: hamujące (gdy ciśnienie w przewodzie głównym spada) albo luzujące (gdy ciśnienie przewodzie głównym wzrasta). Wzbudzenie zaworów hamujących następuje w wyniku przerwania wzbudzenia przekaźnika hamowania. Sprawia to, że hamulec EP-A jest w pewnym stopniu hamulcem samoczynnym. Wzbudzenie zaworów luzujących następuje w wyniku wzbudzenia przekaźnika luzowania. Oba te przekaźniki winny się znaleźć w lokomotywie prowadzącej pociąg. Na stanowisku maszynisty trzeba też przewidzieć lampkę sygnalizującą niesprawność hamulca EP-A i możliwość wyłączenia tego hamulca w razie wykrycia jego niesprawności. Sterowanie hamulcem EP-A przez maszynistę winno się odbywać za pomocą tego samego organu i w taki sam sposób, jak sterowanie hamulcem zespolonym pociągu (czyli za pomocą dźwigni sterującej nastawnika hamulca).

W lokomotywie oprócz urządzeń do sterowania hamulcem EP-A należy zabudować urządzenie diagnostyczne nadzorujące funkcjonowanie tego hamulca. Karta UIC [5] wymaga bowiem ciągłego nadzoru obwodu sterowania hamowaniem EP-A, wykonywanego wtedy, gdy nie jest wdrożone hamowanie tym hamulcem. W tym celu w ostatnim wagonie pociągu wyposażonego w hamulec EP-A łączy się odpowiednie przewody sygnałowe tego hamulca przez opornik o rezystancji 1000 Ω, tworząc pętlę sterowania.

Urządzenie diagnostyczne, zasilane z przetwornicy prądu stałego z galwanicznie izolowanym wyjściem, sprawdza rezystancję tej pętli mierząc płynący w niej prąd. W przypadku, gdy oporność pętli istotne różni się od wartości 1000Ω (co świadczy o zawarciu lub przerwie) urządzenie nadzorujące zmienia obszar pracy na charakterystyce U = f (I). Powoduje to zapłon lampki ostrzegawczej na stanowisku maszynisty oraz taką zmianę układu połączeń w przekaźnikach sterujących hamowaniem, że w chwili uruchomienia przez maszynistę jakiegokolwiek hamowania układ hamulca EP-A wywołuje hamowanie nagłe.

Karta UIC [5] zawiera kompletny schemat elektryczny układu sterowania hamulcem EP-A, przy czym dopuszcza ona również inne rozwiązanie takiego układu pod warunkiem, że układ alternatywny realizować będzie wszystkie funkcje wymagane w tejże karcie. Koncepcję układu sterowania hamulcem EP-A, zgodnego z wymaganiami tej karty zawiera opracowanie [1].

Wymaganie karty UIC [3], aby za pomocą nastawnika hamowania wraz z hamulcem zespolonym pociągu uruchamiany był hamulec elektrodynamiczny lub hydrodynamiczny, jest jednym z warunków, pod którymi siłę hamowania hamulca dynamicznego można uwzględnić określając skuteczność hamowania lokomotywy. Warunki te zawarte są w

karcie UIC [6], a najistotniejsze z nich, dotyczące sterowania hamulcami polegają na:

- takim ograniczeniu sił hamowania równocześnie działających hamulca dynamicznego i pneumatycznego zespolonego, aby nie doszło do zablokowania kół,
- samoczynnym uruchamianiu hamulców dynamicznych podczas hamowań nagłych, także inicjowanych przez układy kontrolujące czujność maszynisty lub radiostop,
- samoczynnym i niezwłocznym rozwinięciu siły hamowania zespolonego hamulca pneumatycznego w przypadku awarii hamulca dynamicznego.

Powyższe wymagania najłatwiej spełnić, gdy hamulec dynamiczny uruchamiany jest wraz z hamulcem zespolonym lokomotywy przez jej zawór rozrządczy. Takie rozwiązanie spełnia też wymóg karty UIC [3], gdyż nastawnikiem hamowania można uruchomić hamulec dynamiczny. Bezpośrednie sterowanie hamulcem dynamicznym za pomocą układu zaworu maszynisty (z wykorzystaniem urządzenia dodatkowego wchodzącego w jego skład) nie zapewnia spełnienia przytoczonych powyżej wymagań dotyczących współpracy tego hamulca z pneumatycznym hamulcem zespolonym lokomotywy. Hamulec dynamiczny uruchamiany w ten sposób nie może być podstawowym hamulcem lokomotywy.

Stanowisko maszynisty powinno według wymagań karty UIC [6] być wyposażone w następujące urządzenia kontrolne hamulca dynamicznego:

- wskaźnik siły hamowania rozwijanej przez hamulec dynamiczny lokomotywy prowadzącej pociąg,
- co najmniej sygnalizatory rozwinięcia choćby minimalnej siły hamowania przez hamulce dynamiczne pozostałych pojazdów trakcyjnych w warunkach trakcji wielokrotnej,
- wskaźnik gotowości do pracy hamulca hydrodynamicznego.

Do układu sterowania hamulcem zespolonym pociągu należy też zaliczyć zabudowane w lokomotywie urządzenia do elektropneumatycznego mostkowania hamulca bezpieczeństwa. Mostkowanie hamulca bezpieczeństwa polega na przerwaniu przez maszynistę na drodze elektrycznej hamowania nagłego zainicjowanego zaworem hamulca bezpieczeństwa w składzie pociągu osobowego. Realizacja tej funkcji wymaga – podobnie jak hamulec EP-A – zabudowy odpowiednich urządzeń zarówno w wagonach pociągu jak i w lokomotywie prowadzącej.

Wagony należy wyposażyć w zawory hamulca bezpieczeństwa z elektryczną sygnalizacją ich otwarcia oraz zawory elektropneumatyczne mostkujące ich działanie i połączyć te zawory przewodami elektrycznymi z urządzeniem nadzorującym, sygnalizatorami i urządzeniem sterującym zabudowanymi w lokomotywie. Urządzenie nadzorujące mostkowanie hamulca bezpieczeństwa działa na takiej samej zasadzie jak opisane wcześniej urządzenie diagnostyczne EP-A. Pętlę mostkowania hamulca bezpieczeństwa zamyka opornik o rezystancji 1300 Ω (w ostatnim wagonie).

Uruchomienie hamulca bezpieczeństwa w dowolnym wagonie pociągu powoduje zmianę oporności tej pętli przez równoległe włączenie do niej przekaźnika z cewką o rezystancji 240 Ω. Na skutek tego urządzenie nadzorujące uruchamia na stanowisku maszynisty sygnały akustyczny i świetlny informujące maszynistę o użyciu hamulca bezpieczeństwa w składzie pociągu. Sygnał akustyczny brzmi do chwili, gdy maszynista zareaguje na niego wdrażając hamowanie nagłe lub mostkując hamulec bezpieczeństwa. Mostkowanie tego hamulca może być dokonywane na dwa sposoby, to jest na skutek ustawienia dźwigni nastawnika hamowania w pozycji napełniania albo przez naciśnięcie na specjalny przycisk znajdujący się na stanowisku maszynisty.

Na sygnał mostkujący hamulec bezpieczeństwa, urządzenie nadzorujące tego układu wzbudza przekaźnik powodując w ten sposób zasilenie prądem z wagonowej baterii akumulatorów elektropneumatycznego zaworu mostkującego w wagonie, w którym użyto hamulca bezpieczeństwa. Umożliwia to wyluzowanie hamulca i dalszą jazdę pociągu. Lampka sygnalizująca użycie hamulca bezpieczeństwa powinna gasnąć dopiero po zamknięciu wszystkich zaworów.

Wymagania dotyczące elektropneumatycznego mostkowania hamulca bezpieczeństwa, w tym kompletny schemat elektryczny tego układu. zawarte są w karcie UIC [5], tej samej, w której opisano hamulec EP-A. Zwraca uwagę znaczne podobieństwo urządzeń nadzorujących pracę obu tych układów; działają one na tej samej zasadzie i mogą być zasilane z tej samej przetwornicy.

Z przeprowadzonego przeglądu wymagań przepisów UIC wynika, że w lokomotywie liniowej przeznaczonej do prowadzenia pociągów pasażerskich (zwłaszcza w lokomotywie na duże prędkości jazdy) powinny być zabudowane następujące urządzenia do sterowania hamowaniem pociągu:

- układ zaworu maszynisty zgodny z wymaganiami karty UIC [3] przeznaczony do sterowania pneumatycznym hamulcem zespolonym; urządzenia tworzące ten układ to nastawniki hamowania, urządzenie lub urządzenia przekaźnikowe napełniające sprężonym powietrzem przewód główny i dodatkowe urządzenia kontrolne,
- manostat, przekaźniki elektryczne i urządzenie nadzorujące (diagnostyczne) hamulca EP-A czyniące zadość wymaganiom karty UIC [5]; hamulec EP-A sterowany nastawnikiem pneumatycznego hamulca zespolonego umożliwia uzyskanie równocześnie w całym pociągu wartości ciśnienia w przewodzie głównym określonej tym nastawnikiem,
- urządzenie nadzorujące, sygnalizatory i przycisk uruchamiający układu do elektropneumatycznego mostkowania hamulca bezpieczeństwa według wymagań tejże karty UIC [5]; układ ten umożliwia maszyniście przerwanie na drodze elektrycznej hamowania wdrożonego zaworem hamulca bezpieczeństwa w składzie pociągu, jeżeli okoliczności prowadzenia pociągu tego wymagają.

Wszystkie wyżej wymienione urządzenia służą do sterowania pneumatycznym hamulcem zespolonym, który nadal pozostaje podstawowym hamulcom pociągu. Urządzenia przewidziane w karcie UIC [5] (hamulec EP-A, mostkowanie hamulca bezpieczeństwa) poprawiają jego własności i stwarzają dodatkowe możliwości sterowania tym hamulcem.

3.2. Parametry pracy układu sterowania hamulcem

Hamulec zespolony pociągu jest hamulcem pneumatycznym. O funkcji wykonywanej przez ten hamulec po jego przygotowaniu do pracy decydują wartość ciśnienia w przewodzie głównym i tempo jego zmiany.

Są to zarazem dwa podstawowe parametry pracy układu sterowania hamulcem, których wartości określane są w karcie UIC [3] dotyczącej układu zaworu maszynisty.

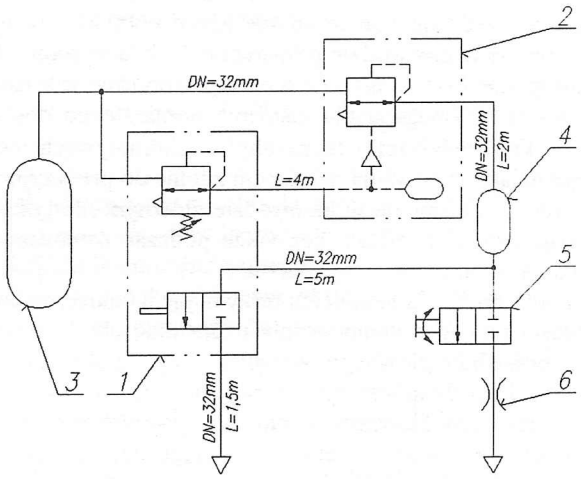
Wartości ciśnienia sprężonego powietrza w przewodzie głównym występujące w przepisach UIC są nadciśnieniami względem ciśnienia atmosferycznego wyrażonymi w barach. W niniejszej pracy bary zastąpiono bardziej dogodnymi jednostkami układu SI, to jest kilopaskalami [kPa] (1 bar = 100 kPa).

Tempo zmiany ciśnienia w przewodzie głównym, nazywane w przepisach UIC gradientem ciśnienia, definiowane jest tam jako zmiana wartości ciśnienia wymagana w określonym przedziale czasu (np. spadek ciśnienia o 180 kPa w ciągu 3 s wymagany dla uruchomienia przyspieszacza hamowania nagłego). W niniejszej pracy do scharakteryzowania tempa zmian ciśnienia w przewodzie głównym stosuje się ponadto iloraz tych dwóch wielkości nazywany średnim gradientem ciśnienia i wyrażany w [kPa/s] (np. średni gradient ciśnienia wymagany dla uruchomienia przyspieszacza wynosi 60 kPa/s).

Aby układ sterowania hamulcem zespolonym mógł zrealizować wymagane gradienty ciśnienia w przewodzie głównym, jego urządzenia do napełniania i opróżniania tego przewodu winny charakteryzować się odpowiednią zdolnością przepustową; zdolność ta jest kolejnym parametrem pracy tego układu. Przepisy UIC nie określają wymaganej zdolności przepustowej tych urządzeń w sposób bezpośredni (np. za pomocą wymaganego natężenia przepływu powietrza). Wymagana zdolność przepustowa określana jest w sposób pośredni poprzez:

- wymagany gradient ciśnienia w zbiorniku sprężonego powietrza o określonej pojemności (zbiornik ten modeluje przewód główny pociągu), napełnianym lub opróżnianym przez odpowiedni zespół funkcjonalny układu sterowania hamulcem, lub
- dopuszczalny spadek ciśnienia (w zbiorniku o określonej pojemności napełnianym sprężonym powietrzem przez urządzenie przekaźnikowe), wywołany połączeniem tego zbiornika z atmosferą przez dyszę z otworem o odpowiedniej średnicy.

Przepisy UIC, formułując wymagania dotyczące wartości i gradientu ciśnienia w przewodzie głównym oraz zdolności przepustowej urządzeń do napełniania i opróżniania przewodu głównego, określają też warunki, w jakich należy sprawdzać funkcjonowanie układu zaworu maszynisty. Karta UIC [3] określa ciśnienie w zbiorniku głównym wymagane podczas prób tego układu zaś w załączniku B do tej karty określono średnicę nominalną i długości przewodów łączących urządzenia tworzące układ zaworu maszynisty ze zbiornikiem modelującym przewód główny i z atmosferą (rys. 6).



Rys. 6. Schemat stanowiska do prób układu zaworu maszynisty; 1 – nastawnik hamowania badanego układu, 2 – urządzenia przekaźnikowe badanego układu, 3 – zbiornik główny, 4 – zbiornik modelujący przewód główny, 5 – zawór odcinający, 6 – dysza

3.3. Wartości parametrów pracy uzyskiwane w trakcie spełniania poszczególnych funkcji hamulca

Wyboru funkcji spełnianej przez układ sterowania hamulcem dokonuje się ustawiając dźwignię sterującą nastawnika hamowania w jednym z czterech głównych jej położeń przewidzianych w karcie UIC [3]. W położeniu jazdy układ sterowania realizuje stan gotowości hamulca do pracy. W położeniu napełniania mogą być spełniane dwie funkcje hamulca:

- luzowanie hamulca wysokim ciśnieniem na skutek przestawienia dźwigni sterującej do tego położenia z dowolnej pozycji hamowania,
- wyrównanie ciśnienia w przeładowanym układzie hamulcowym w wyniku przestawienia dźwigni do tego położenia z pozycji jazdy.

Hamowanie służbowe i hamowanie nagłe następuje po ustawieniu dźwigni w przewidzianych dla nich położeniach. Za pomocą dźwigni sterującej lub specjalnego urządzenia odcinającego można spowodować odcięcie układu sterowania hamulcem od przewodu głównego. Jest to niezbędne dla sprawdzenia szczelności układu hamulcowego lokomotywy lub pociągu. Układ sterowania musi być ponadto odcięty, gdy lokomotywa pracuje jako druga w warunkach podwójnej funkcji lub jest holowana jak wagon w składzie pociągu.

3.3.1. Stan gotowości

Hamulec zespolony pozostaje w stanie gotowości, gdy ciśnienie w jego przewodzie głównym i zbiornikach sterujących ma wartość nominalną, zaś ciśnienie w zbiornikach pomocniczych jest ustabilizowane na poziomie nie niższym niż wartość nominalna. Hamulec w takim stanie jest wyluzowany, lecz w każdej chwili jest gotowy do działania.

Zgodnie z wymaganiami karty UIC [3] układ zaworu maszynisty utrzymując hamulec w stanie gotowości powinien zapewnić w przewodzie głównym stałe ciśnienie o wartości 500 ± 5 kPa; zapis taki oznacza praktycznie zerowy gradient ciśnienia. Wymaganie to nie wynika z przepisów dotyczących zaworów rozrządczych (karta UIC [2]), według których hamulec powinien funkcjonować, gdy ciśnienie w przewo-

dzie głównym różni się od wartości nominalnej o 100 kPa (to znaczy w przedziale ciśnień od 400 kPa do 600 kPa), a spadek ciśnienia w przewodzie głównym o 30 kPa w ciągu 60 s (średni gradient 0,5 kPa/s) nie może spowodować wdrożenia hamowania. Wymagana dla ciśnienia nominalnego dokładność ± 5kPa służy raczej temu, aby w lokomotywach instalowano układy sterowania hamulcem zdolne do precyzyjnego utrzymywania ciśnienia w przewodzie głównym nie tylko w stanie gotowości hamulca lecz także podczas hamowania i luzowania stopniowego.

Układ sterowania hamulcem utrzymując hamulec w stanie gotowości powinien samoczynnie uzupełniać ubytki powietrza z przewodu głównego wywołane jego drobnymi nieszczelnościami. Jednocześnie wymaga się, aby w razie połączenia przewodu głównego z atmosferą (uruchomienia hamulca bezpieczeństwa, rozerwania pociągu itp.), w przewodzie tym wystąpił spadek ciśnienia wystarczający do wdrożenia hamowania. Jest to warunek samoczynnego działania hamulca. Aby układ sterowania spełnił oba te wymagania, zdolność przepustowa jego urządzenia przekaźnikowego w stanie gotowości hamulca powinna być taka, żeby ciśnienia w zbiorniku o pojemności 25 l napełnianym przez to urządzenie obniżyło się następująco:

- nie więcej niż o 15 kPa po połączeniu tego zbiornika a atmosferą przez dyszę z otworem o średnicy 4 mm,
- co najmniej o 60 kPa po połączeniu zbiornika z atmosferą za pomocą dyszy z otworem o średnicy 7,5 mm,
- co najmniej o 150 kPa po połączeniu zbiornika z atmosferą za pośrednictwem dyszy z otworem o średnicy 12 mm.

Wymagania te powinny być spełnione, gdy ciśnienie w zbiorniku głównym, z którego zasilane jest urządzenie przekaźnikowe, mieści się w przedziale 800÷1000 kPa, a zbiornik połączony jest z urządzeniem przekaźnikowym w sposób przedstawiony na rys. 6. Jeżeli zdolność przepustowa przekładnika ciśnienia utrzymującego hamulec w stanie gotowości jest większa, to układ zaworu maszynisty należy wyposażyć w urządzenie, które zasygnalizuje zwiększone natężenie przepływu powietrza przez ten przekładnik wywołane zbyt dużą nieszczelnością w przewodzie głównym.

3.3.2. Hamowanie służbowe

Hamulec zespolony wykonuje hamowanie służbowe, gdy ciśnienie w przewodzie głównym spada w tempie szybszym niż o 30 kPa w ciągu 60 s (granica nieczułości zaworów rozrządczych określona przez kartę UIC [2]), nie szybciej jednak niż o 180 kPa w ciągu 6 s (granica nieczułości przyspieszaczy hamowania nagłego wymagana w karcie UIC [4]). Ciśnienia cylindrowe podczas hamowania służbowego są proporcjonalne do głębokości spadku ciśnienia w przewodzie głównym. Jeżeli w trakcie hamowania służbowego ciśnienia cylindrowe osiągną wartość maksymalną, to hamowanie takie określane jest jako hamowanie pełne.

Układ zaworu maszynisty wprowadzając pierwszy stopień hamowania służbowego powinien – zgodnie z wymaganiami karty UIC [3] – obniżyć ciśnienie w przewodzie głównym o 40 + 10 kPa poniżej wartości nominalnej, panującej tam w stanie gotowości hamulca. Ta sama karta zaleca, aby było możliwe stopniowe obniżanie tego ciśnienia o 10 kPa, tak aby podczas hamowania pełnego ciśnienie w przewodzie głównym było niższe o 160 + 20 kPa od ciśnienia stanu gotowości (spadek ciśnienia dla hamowania pełnego jest wartością wymaganą). Układ zaworu maszynisty powinien umożliwić zarówno stopniowe jak i całkowite wyluzowanie hamulca. Na ostatnim stopniu luzowania ciśnienie w przewodzie głównym powinno być niższe o co najmniej 25 kPa od wartości panującej tam w stanie gotowości hamulca.

Określone w karcie UIC [3] spadki ciśnienia wywoływane przez układ zaworu maszynisty w celu wdrożenia pierwszego stopnia hamowania i hamowania pełnego są nieco głębsze od spadków ciśnienia w przewodzie głównym wystarczających do wdrożenia tych samych funkcji hamulca przez zawory rozrządcze (według wymagań karty UIC [2]). Również spadek ciśnienia na ostatnim stopniu luzowania jest głębszy niż spadek, przy którym hamulec pociągu może powracać do stanu gotowości (tabela 1). Dzięki temu hamowanie służbowe jest wdrażane w sposób pewny we wszystkich wagonach pociągu i w całym zakresie ciśnień cylindrowych.

Tabela 1

Porównanie wymagań dotyczących hamowania służbowego dla zaworów rozrządczych i układu zaworu maszynisty

Funkcja hamulca zespolonego	Wymagania dla zaworów rozrządczych	Wymagania dla układu zaworu maszynisty
Wdrożenie pierwszego stopnia hamowania służbowego	Spadek ciśnienia o 30 kPa poniżej wartości nominalnej na początku pociągu powinien uruchomić hamowanie w całym pociągu	Na pierwszym stopniu hamowania spadek o 40 + 10 kPa poniżej wartości nominalnej
Hamowanie pełne służbowe	Pełne ciśnienie cylindrowe gdy ciśnienie w przewodzie głównym jest niższe o 150 ± 10 kPa od wartości nominalnej	Podczas hamowania pełnego ciśnienie w przewodzie głównym niższe o 160 + 20 kPa od wartości nominalnej
Odhamowanie	Hamulec powinien powracać do stanu gotowości gdy ciśnienie jest niższe o 15 kPa od wartości nominalnej	Na ostatnim stopniu luzowania ciśnienie w przewodzie głównym niższe o co najmniej 25 kPa od wartości nominalnej

Układ zaworu maszynisty uruchamiając hamowanie służbowe powinien zgodnie z wymaganiami karty UIC [3] – obniżyć ciśnienie w zbiorniku modelującym przewód główny:

- 150 kPa w ciągu 6÷10 s, gdy zbiornik ten ma pojemność 25 l,
- 120 kPa w czasie nie dłuższym niż 10 s, gdy pojemność tego zbiornika wynosi 400 l.

Z wymagań tych wynika, że średni gradient ciśnienia w przewodzie głównym w trakcie hamowania służbowego powinien mieścić się w przedziale od 25 kPa/s do 12kPa/s w bardzo szerokim zakresie pojemności przewodu głównego od 25 l do 400 l. Tak działający układ zaworu maszynisty zapewnia niezwłoczne hamowanie, gdyż nawet w długich pociągach średni gradient ciśnienia w przewodzie głównym jest większy od występującego podczas próby czułości zaworu rozrządczego (zgodnie z zapisem w karcie UIC [2] spadek ciśnienia o 60 kPa w ciągu 6 s, a więc w tempie 10 kPa/s winien uruchomić hamulec wagonu przed upływem 1,2 s). Właściwie działający układ zaworu maszynisty wprowadzając hamowanie służbowe nie spowoduje zakłóceń wywołanych zadziałaniem przyspieszaczy hamowania nagłego .Urządzenia te, zgodnie z wymaganiem karty UIC [4], nie mogą zadziałać, gdy ciśnienie w przewodzie głównym spada o 180 kPa w czasie 6 s, co oznacza średni gradient 30 kPa/s.

Karta UIC [3] wymaga ponadto, aby zarówno podczas hamowania jak i luzowania stopniowego ciśnienie w przewodzie głównym zmieniało się w sposób nieprzerwany i regularny aż do żądanej wartości a następnie wartość ta była utrzymywana na ustalonym poziomie. Uzyskaniu takich przebiegów ciśnienia w przewodzie głównym, zwłaszcza w długich pociągach, sprzyja odpowiednia zdolność przepustowa urządzenia przekaźnikowego układu zaworu maszynisty realizującego hamowanie służbowe. Urządzenie to, zgodnie z zapisem w karcie UIC [3], powinno mieć wtedy taką zdolność napełniania, aby ciśnienie w zbiorniku o pojemności 25 l po połączeniu go z atmosferą przez dyszę z otworem o średnicy 4 mm obniżyło się o nie więcej niż 15 kPa. Minimalną zdolność przepustową urządzenia przekaźnikowego podczas opróżniania przewodu głównego określa wymaganie dotyczące spadku ciśnienia w zbiorniku o pojemności 400 l (o 120 kPa w ciągu co najwyżej 10 s). Przepisy UIC nie ograniczają zdolności przepustowej urządzenia przekaźnikowego podczas hamowania służbowego. Jedynie wtedy, gdy całkowite luzowanie hamulca następuje w nastawieniu jazdy obowiązują ograniczenia przewidziane dla stanu gotowości hamulca.

3.3.3. Hamowanie nagłe

Hamowanie nagłe następuje na skutek szybkiego spadku ciśnienia w przewodzie głównym aż do wartości ciśnienia atmosferycznego. Podczas takiego hamowania ciśnienia cylindrowe osiągają najwyższe wartości w najkrótszych czasach wyznaczonych przez dysze regulacyjne zaworów rozrządczych.

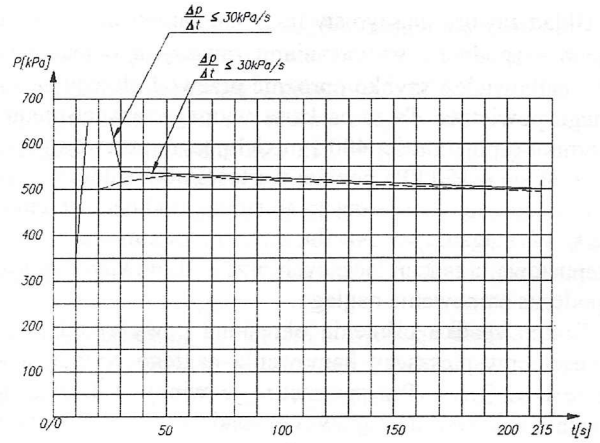
Układ zaworu maszynisty inicjując hamowanie nagłe powinien – zgodnie z wymaganiami zawartymi w karcie UIC [3] – całkowicie i szybko opróżnić przewód główny ze sprężonego powietrza. Ta sama karta wymaga, aby ciśnienie w zbiorniku o pojemności 400 l modelującym przewód główny obniżyło się o 150 kPa poniżej wartości nominalnej w czasie nie dłuższym niż 2,5s; oznacza to średni gradient ciśnienia 60 kPa/s. Wymaganie to określa zarazem minimalną zdolność przepustową urządzeń łączących przewód główny z atmosferą podczas hamowania nagłego.

Tempo spadku ciśnienia określone powyżej odpowiada czułości przyspieszaczy hamowania nagłego wymaganej w karcie UIC [2]. Przyspieszacze te winny zadziałać, gdy ciśnienie w przewodzie głównym spada o 180 kPa w ciągu 3 s, czemu odpowiada średni gradient 60 kPa/s.

3.3.4. Luzowanie hamulca wysokim ciśnieniem

Luzowanie hamulca wysokim ciśnieniem stosuje się po hamowaniu nagłym lub hamowaniu służbowym, aby przyśpieszyć powrót do stanu gotowości hamulca zespolonego długiego pociągu. Zgodnie z określeniem zawartym w karcie UIC [3] polega ono na chwilowym podwyższeniu ciśnienia w przewodzie głównym do wartości istotnie wyższej niż wartość nominalna, po czym ciśnienie to powinno samoczynnie obniżyć się do wartości nieznacznie wyższej od nominalnej. Po wygaśnięciu tego impulsu ciśnienia, jego powrót do wartości nominalnej powinien następować w tempie 15 kPa w ciągu 60÷75 s. Przepisy UIC nie definiują bezpośrednio ani czasu trwania, ani też wartości maksymalnej i końcowej ciśnienia charakteryzujących ten impuls. Wymagają one natomiast, aby na skutek impulsu wysokiego ciśnienia w przewodzie głównym nie nastąpiło przeładowanie hamulca ani też jego uruchomienie, gdy impuls ten wygasa.

Podczas luzowania hamulca wysokim ciśnieniem układ hamulcowy nie zostanie przeładowany, jeżeli ciśnienie w przewodzie głównym w chwili, gdy impuls wysokiego ciśnienia wygasa a rozpoczyna się jego powolny powrót do wartości nominalnej będzie wyższe od ciśnień panujących wtedy w zbiornikach sterujących (impuls wysokiego ciśnienia w przewodzie głównym powoduje wzrost ciśnień w tych zbiornikach ponad wartość nominalną). Jeżeli powyższy warunek będzie spełniony, to szybki spadek ciśnienia w przewodzie głównym kończący impuls wysokiego ciśnienia nie spowoduje wdrożenia hamowania. Spadek ten powinien zachodzić w tempie nie większym niż 30 kPa/s (średni gradient), tak by nie zadziałały przyspieszacze hamowania nagłego zabudowane w układzie hamulcowym pociągu. Dalszy spadek ciśnienia w przewodzie głównym zachodzi w tempie 0,20÷0.25 kPa/s, a więc dwukrotnie wolniej niż podczas próby nieczułości zaworu rozrządczego wykonywanej zgodnie z przepisami karty UIC [2]. Spadek taki również nie może wywołać hamowania. Przebieg ciśnienia w przewodzie głównym odpowiadający powyższym wymaganiom przepisów UIC schematycznie przedstawiono na rys. 7.



——— – ciśnienie w przewodzie głównym

- - - - - - – ciśnienie w zbiorniku sterującym

Rys. 7. Schemat przebiegu ciśnienia w przewodzie głównym podczas luzowania hamulca wysokim cisnieniem po hamowaniu pełnym

Zgodnie z przepisami UIC ciśnienia w zbiornikach sterujących w trakcie luzowania hamulca wysokim ciśnieniem nie mogą przekroczyć wartości 600 kPa. Zgodnie z wymaganiem karty UIC [2] przy takim ciśnieniu powinien jeszcze funkcjonować hamulec zespolony. Takie ciśnienie w zbiornikach sterujących może też wystąpić, gdy ciśnienie w przewodzie głównym osiągnie maksymalną wartość przewidzianą w karcie UIC [3] dla funkcji wyrównywania ciśnienia w przeładowanym układzie hamulcowym. Po tak znacznym wzroście ciśnienia w zbiornikach sterujących jego powrót do wartości nominalnej w wymaganym przez kartę UIC [3] tempie 15 kPa w ciągu 60÷75 s trwałby 6,5÷8 minut. Taki czas jest zbyt długi ze względu na warunki pracy podczas jazdy pociągu. Ponadto impuls wysokiego ciśnienia w przewodzie głównym wywołujący tak znaczny wzrost ciśnienia w zbiornikach sterujących wywołałby też istotny wzrost ciśnienia w zbiornikach pomocniczych. Skutkiem tego byłyby zbyt wysokie ciśnienia w cylindrach hamulcowych wagonów wyposażonych w zawory rozrządcze bez ograniczników ciśnienia (w razie konieczności wdrożenia hamowania nagłego). Dlatego dobierając parametry impulsu podwyższonego ciśnienia w przewodzie głównym należy raczej kierować się wymaganiami karty UIC [2], zgodnie z którymi utrzymanie w przewodzie głównym ciśnienia podwyższonego do co najmniej 600 kPa przez 10s (gdy hamulec działa w nastawieniu „Osobowy"), w celu wyluzowania hamulca pojedynczego wagonu po hamowaniu pełnym nie może prowadzić do przeładowania hamulca wywołującego zakłócenia podczas następnych hamowań. Ta sama karta wymaga, aby utrzymanie w przewodzie głównym ciśnienia podwyższonego do 600 kPa przez 2s a następnie obniżenie go do 520 kPa w ciągu 1 s nie spowodowało w pojedynczym wagonie uruchomienia hamulca pozostającego w stanie gotowości. Odporność na przeładowanie hamulca pozostającego w stanie gotowości jest znikoma, dlatego też impuls wysokiego ciśnienia w przewodzie głównym powinien wygasnąć, zanim nastąpi wyluzowanie hamulca. Spełnienie t warunku wymaga automatycznego uzależnienia przebiegu ciśnienia w przewodzie głównym podczas luzowania hamulca wysokim ciśnieniem od głębokości spadku tego ciśnienia wywołującego hamowanie.

Przepisy UIC nie ograniczają zdolności przepustowej urządzenia przekaźnikowego układu zaworu maszynisty wywołującego impuls podwyższonego ciśnienia w przewodzie głównym. Sprzyja to uzyskaniu wymaganego przebiegu ciśnienia w przewodzie głównym (szybki wzrost, krótki czas trwania impulsu, szybki spadek). W trakcie powolnego obniżania ciśnienia w przewodzie głównym do wartości nominalnej zdolność przepustowa urządzenia przekaźnikowego musi być taka sama jak podczas utrzymywania hamulca w stanie gotowości.

3.3.5. Wyrównanie ciśnienia w przeładowanym układzie hamulcowym

Przez przeładowanie układu hamulcowego pociągu rozumie się sytuację, w której ciśnienia w zbiornikach sterujących są wyższe od nominalnego ciśnienia w przewodzie głównym. W takiej sytuacji, pomimo wzrostu ciśnienia w przewodzie głównym do wartości nominalnej, hamulec nie powraca do stanu gotowości. Aby usunąć przeładowanie układu hamulcowego pociągu, niezbędne jest podwyższenie ciśnienia w przewodzie głównym co najmniej do wartości panującej w zbiornikach sterujących (spowoduje to wyluzowanie hamulca) a następnie obniżenie ciśnienia w zbiornikach sterujących i w przewodzie głównym do wartości nominalnej w tempie wolniejszym niż wymagane podczas próby nieczułości zaworów rozrządczych.

Aby usunąć przeładowanie układu hamulcowego układ zaworu maszynisty powinien – zgodnie z wymaganiami Karty UIC [3] – podwyższyć ciśnienie w przewodzie głównym o nie więcej niż 100 kPa ponad wartość nominalną, a następnie obniżyć je do wartości nominalnej w tempie 15 kPa w czasie 60÷75 s (średni gradient 0,25÷0,20 kPa(s).

Wymagane tempo powrotu ciśnienia w przewodzie głównym do wartości nominalnej jest takie samo jak po luzowaniu hamulca wysokim ciśnieniem. Również zdolności przepustowe urządzenia przekaźnikowego powinny być takie same jak podczas odpowiednich faz luzowania hamulca wysokim ciśnieniem.

Z przytoczonych powyżej wymagań dotyczących największej wartości i gradientu ciśnienia w przewodzie głównym wynika, że po maksymalnym podwyższeniu tego ciśnienia (o 100 kPa) jego powrót do wartości nominalnej nastąpiłby po upływie 400÷500 s (ok. 6,5÷8 min). Czas taki jest zbyt długi ze względu na warunki pacy hamulca w pociągu i dlatego rzeczywiście występujące wzrosty ciśnienia powinny być niższe.

3.3.6. Podsumowanie

Przepisy UIC określają wartości parametrów pracy układu sterowania hamulcem wymagane w trakcie wykonywania wszystkich funkcji hamulca (tabela 2). Stopień szczegółowości wymagań w zakresie poszczególnych funkcji jest zróżnicowany i można go ująć w niżej przedstawionych punktach:

- Przepisy dotyczące stanu gotowości hamulca ustalają wartość ciśnienia w przewodzie głównym wymaganą w tym stanie i obowiązujące wtedy ograniczenia zdolności przepustowej urządzenia przekaźnikowego. Przepisy te

określają też dodatkowe urządzenia jakie trzeba zabudować w układzie zaworu maszynisty, gdy zdolność przepustowa urządzenia przekaźnikowego jest większa od wynikającej z tych ograniczeń.

- Przepisy dotyczące hamowania służbowego określają wartości wszystkich parametrów pracy wymagane podczas wdrażania takiego hamowania. Brak w nich natomiast wymaganego tempa wzrostu ciśnienia w przewodzie głównym podczas luzowania hamulca po takim hamowaniu
- Przepisy dotyczące hamowania nagłego szczegółowo ustalają wartości wszystkich parametrów pracy wymagane podczas wdrażania takiego hamowania.
- Przepisy dotyczące luzowania hamulca wysokim ciśnieniem ustalają jedynie charakter impulsu podwyższonego ciśnienia w przewodzie głównym i wymagają, aby impuls ten nie wywoływał zakłóceń w pracy hamulca (tj. przeładowania hamulca lub nieuzasadnionego jego uruchomienia). Przepisy te ustalają natomiast tempo powolnego spadku ciśnienia w przewodzie głównym po takim luzowaniu hamulca i zdolność przepustową urządzenia przekaźnikowego realizującego ten spadek.
- Przepisy dotyczące wyrównania ciśnienia w przeładowanym układzie hamulcowym określają tylko maksymalną wartość ciśnienia w przewodzie głównym. Wymagania dotyczące powolnego spadku ciśnienia w przewodzie głównym są takie same jak dla funkcji poprzedniej.

Z informacji zestawionych w tabeli 2 wynika, że przepisy UIC szczegółowo **określają wartości wszystkich parametrów pracy układu sterowania hamulcem wymagane,** gdy układ ten utrzymuje hamulec w stanie gotowości lub wdraża hamowanie (służbowe albo nagłe). Wymagania tych samych przepisów dotyczące działania układu sterowania hamulcem podczas luzowania hamulca są mniej szczegółowe lub wręcz niepełne.

4. Wnioski

1. W lokomotywie liniowej przeznaczonej do prowadzenia pociągów pasażerskich powinny być zabudowane następujące urządzenia do sterowania hamulcami pociągu:
   - układ zaworu maszynisty spełniający wymagania przepisów UIC, zwłaszcza karty UIC [3],
   - urządzenia hamulca EP-A i urządzenia do elektropneumatycznego mostkowania hamulca bezpieczeństwa przewidziane do zabudowy w lokomotywie zgodnie z wymaganiami karty UIC [5].
2. Przedmiotem karty UIC [3] jest układ zaworu maszynisty, a wiec podstawowy zespół klasycznego (w rozumieniu tej pracy) układu sterowania hamulcem. Trzeba jednak stwierdzić, że Wymagania karty UIC [3] dotyczące nastawnika hamowania, dodatkowych urządzeń kontrolnych oraz wartości i gradientów ciśnienia w przewodzie głównym oraz zdolności przepustowej urządzeń do napełniania i opróżniania tego przewodu obowiązują niezależnie od sposobu sterowania hamulcem. Dlatego wymagania te należy uwzględnić w pracach nad układem umożliwiającym sterowanie hamulcem za pośrednictwem sygnałów elektrycznych.
3. Przedstawione wymagania przepisów UIC należy przyjąć jako wymagania minimalne dla układu, w którym sterowanie hamulcem odbywa się za pośrednictwem sygnałów elektrycznych. W wymaganiach dla takiego układu należy dodatkowo określić wartości parametrów jego pracy, które nie wynikają bezpośrednio z przepisów UIC oraz uwzględnić możliwości stwarzane przez elektryczne sterowanie.

Tabela 2

Wartości parametrów pracy układu sterowania hamulcem – wymagania przepisów UIC

Funkcja hamulca	Wartość ciśnienia w przewodzie głównym	Tempo zmiany i średni gradient ciśnienia w przewodzie głównym	Zdolność przepustowa urządzeń do napełniania albo opróżniania przewodu głównego	
Stan gotowości do pracy	500 ± 5 kPa (wartość nominalna)	Stała wartość ciśnienia	Zdolność napełniania określona spadkami ciśnienia w zbiorniku o pojemności 25 l, wywołanymi połączeniem tego zbiornika z atmosferą przez następujące dysze:	
			Średnica otworu w dyszy	Spadek ciśnienia
			4 mm	max 15 kPa
			7,5 mm	min 60 kPa
			12 mm	min 150 kPa

Hamowanie służbowe	nastawienia graniczne	spadek ciśnienia poniżej wartości nominalnej	Podczas hamowania pełnego wymagany spadek ciśnienia: – zbiorniku o pojemności 25 l do 150kPa w ciągu 6–10 s (25–15 kPa/s), – w zbiorniku o pojemności 400 l do 120 kPa w ciągu co najwyżej 10 s(min 12 kPa/s). Dla wzrostu ciśnienia brak wymagań.	Zdolność napełniania taka, aby w zbiorniku jak wyżej po jego połączeniu z atmosferą przez dyszę o średnicy 4 mm wystąpił spadek ciśnienia o max 15 kPa. Zdolność opróżniania taka, aby ciśnienie w zbiorniku o pojemności 400 l obniżyło się o 120 kPa w ciągu max 10 s.
	pierwszy stopień hamowania	40 + 10 kPa		
	ostatni stopień hamowania	160 + 20 kPa		
	ostatni stopień odhamowania	min 25 kPa		
	pomiędzy nastawieniami granicznymi zalecana możliwość zmiany ciśnienia co 10 kPa			
Hamowanie nagłe	Ciśnienie atmosferyczne		Spadek ciśnienia o 180 kPa w ciągu co najmniej 3 s (co najmniej 60 kPa/s)	Zdolność opróżniania taka, aby w zbiorniku o pojemności 400 l obniżyć ciśnienie o 150 kPa w ciągu max 2,5s.
Luzowanie hamulca wysokim ciśnieniem	Ciśnienie wyższe od nominalnego (impuls wysokiego ciśnienia pokazany schematycznie na rys.7).		Dla wzrostu ciśnienia brak wymagań. Wygasanie impulsu wysokiego ciśnienia w tempie nie większym niż 30kPa/s. Powrót do ciśnienia nominalnego w tempie 15kPa w ciągu60≈75s (0,25≈0,20kPa/s).	Podczas trwania impulsu wysokiego ciśnienia – brak ograniczeń zdolności napełniania. Podczas powolnego powrotu ciśnienia do wartości nominalnej, zdolność napełniania jak w stanie gotowości do pracy.
Wyrównanie ciśnienia w przeładowanym układzie hamulcowym.	Maksimum 600kPa.		Dla wzrostu ciśnienia brak wymagań. Powrót do ciśnienia nominalnego w tempie 15kPa w ciągu 60–75 s (0,25–0,20 kPa/s).	Podczas wzrostu ciśnienia brak ograniczeń zdolności napełniania. Podczas powrotu ciśnienia do wartości nominalnej zdolność napełniania jak w stanie gotowości do pracy.
Odcięcie układu sterowania hamulcem, od przewodu głównego.	Odcięty układ sterowania hamulcem nie określa wartości i gradientu ciśnienia w przewodzie głównym.			Brak możliwości napełniania i opróżniania przewodu głównego przez odcięty układ sterowania hamulcem.

Literatura

[1] *Bednarek L., Koncepcja sterowania hamulcem elektropneumatycznym zgodna z wymaganiami karty UIC 541-5. Niepublikowane opracowanie OBRPS o symbolu OR 8047, Poznań 1998.*

[2] *Karta UIC 540. Hamulec. Hamulce pneumatyczne dla pociągów towarowych i osobowych.*

[3] *Karta UIC 541-03. Hamulec. Przepisy dla budowy różnych części hamulcowych. Układ zaworu hamulcowego maszynisty.*

[4] *Karta UIC 541-1. Hamulce. Przepisy dotyczące konstrukcji różnych części hamulca.*

[5] *Karta UIC 541-5. Hamulec. Hamulec elektropneumatyczny. Elektropneumatyczne mostkowanie hamulca bezpieczeństwa.*

[6] *Karta UIC 544-2. Warunki do spełnienia przez hamulec dynamiczny lokomotyw i wagonów silnikowych, którego siła hamowania uwzględniana jest w masie hamującej.*

[7] *Karta UIC 651. Ukształtowanie kabin maszynisty lokomotyw, wagonów silnikowych zespołów trakcyjnych i wagonów sterowniczych.*