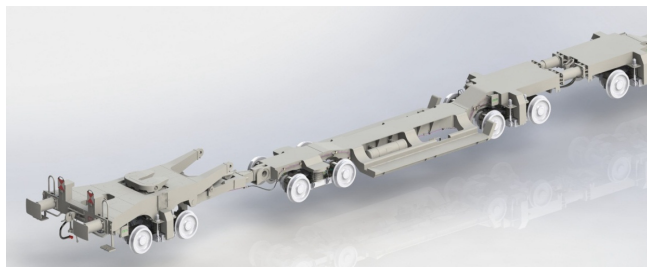


Układ hamulcowy systemu transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym

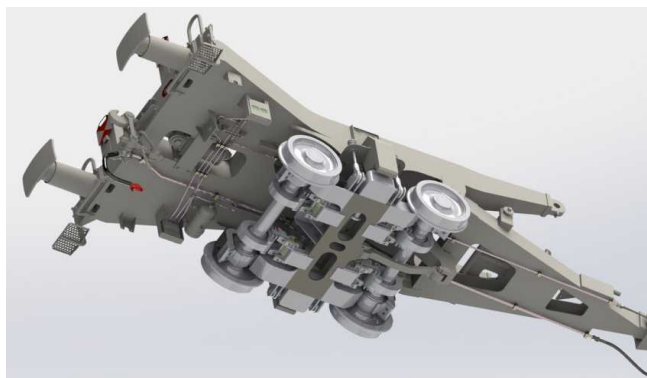
Artykuł powstał w oparciu o wyniki projektu rozwojowego nr R 10-0065-10 „System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym” [1], zrealizowanego w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu. W pracy opisano układ hamulcowy zaproponowany dla tego typu systemu transportu. Przedstawiono zespół sterujący i urządzenia wykonawcze hamulca pneumatycznego oraz hamulec ręczny, w który wagon został wyposażony. Dokonano teoretycznej oceny hamowności systemu transportu. Obliczenia przeprowadzono analitycznie i częściowo metodą symulacyjną, w zakresie symulacji hamowania pociągu towarowego 500 m oraz pojedynczego wagonu.

1 WPROWADZENIE

Wagon składa się z platformy z obniżoną lokalnie przestrzenią przejazdową, na którą najeżdża naczepa drogowa i adaptera przegubowo dołączanego do niej. Na rys. 1 przedstawiono wizualizację jednego segmentu wagonu z pary tworzącej zespół dwuwagonowy modułowego systemu do transportu kombinowanego.

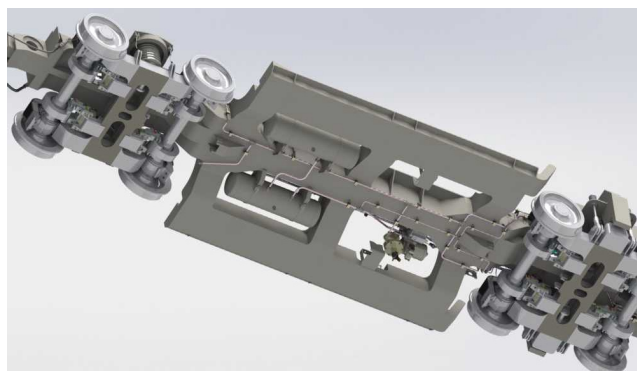


Rys. 1. Wizualizacja wagonu modułowego systemu do transportu kombinowanego



Rys.2. Wizualizacja hamulca na wózku i instalacji pneumatycznej wagonu – adapter wagonu

Hamowanie systemu transportu kombinowanego oparto na tarczowym hamulcu ciernym (rys. 2 i 3). Mechanizmy zaciskowe – dwa na każdą oś zestawu – mocowane do ram poszczególnych wózków, stanowią elementy wykonawcze hamulca. Dociskają one pary okładzin ciernych do tarcz hamulcowych, mocowanych do osi zestawów kołowych wózków, na których oparty jest system transportowy.

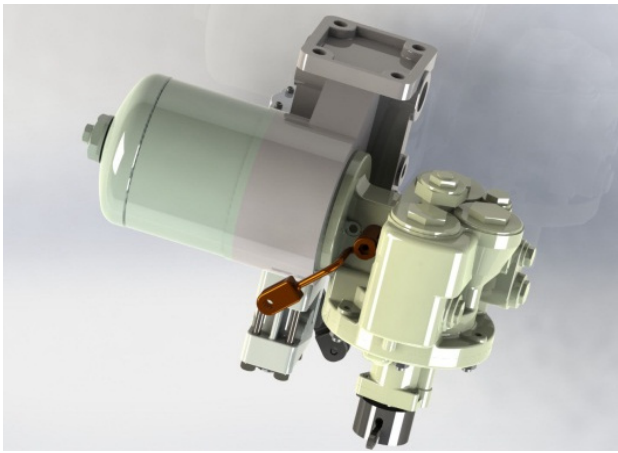


Rys. 3. Wizualizacja instalacji pneumatycznej wagonu – platforma wagonu

2 UKŁAD HAMULCOWY WAGONU DO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

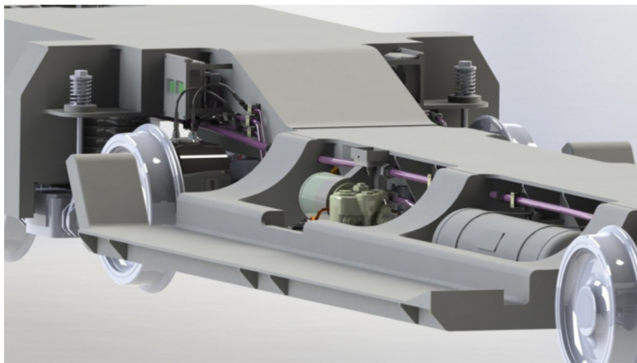
2.1. Urządzenia sterujące

Układ hamulcowy wyposażono w zespół sterujący typu UB A2 produkcji Wabtec (rys. 4 i 5). Agreguje on w jeden zespół wyłącznik hamulca, zawór rozrządczy ze zbiornikiem sterującym oraz przekładnik ciśnienia cylindrowego z komorą sterującą.



Rys. 4. Moduł sterujący typu UB-A2

Poszczególne urządzenia zespołu sterującego, umieszczone na wspólnym wsporniku, zabudowano asymetrycznie względem osi platformy, w obszarze jej obniżonej części.



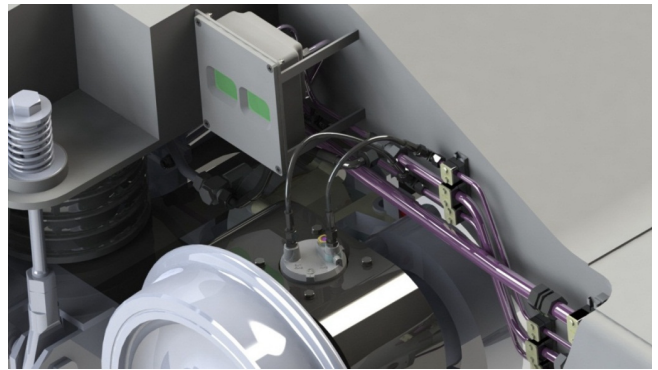
Rys. 5. Zabudowa modułu sterującego typu UB-A2

Zawór rozrządczy MH3f, poprzez przekładnik ciśnienia typu AKR, napędza ze zbiornika pomocniczego sprężonym powietrzem wszystkie cylindry hamulcowe mechanizmów zaciskowych wagonu, powodując docisk okładzin do tarcz hamulcowych.

W celu zapewnienia stałej, w funkcji przewożonego ładunku, skuteczności układu hamulcowego modułowy system transportowy wyposażono w układ ważenia. Składa się na niego zawór ważący, który zasilany sprężonym powietrzem ze zbiornika pomocniczego, generuje sygnał pneumatyczny o wielkości przewożonego ładunku.

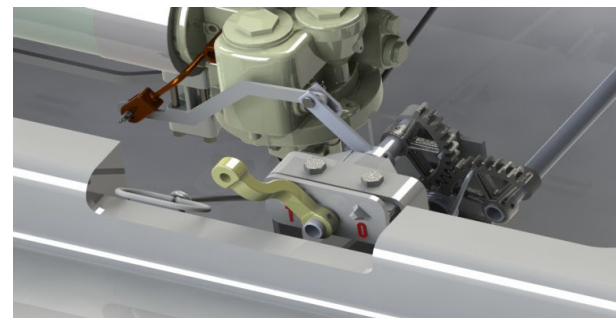
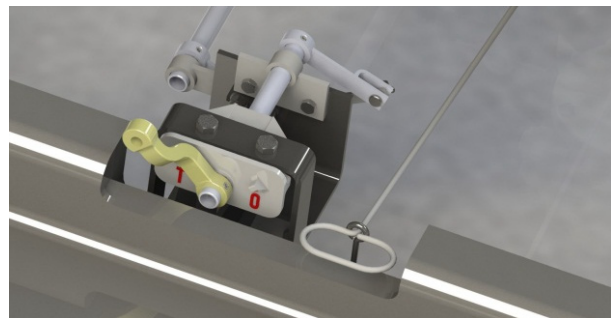
Sygnał ten uzależniony jest od transportowanej masy i wykorzystywany do sterowania pracą przekładnika ciśnienia cylindrowego. Zawór ważący zabudowano na skrajnym wózku platformy, a jego działanie oparto na nacisku z pierwszego stopnia usprężynowania (rys. 6).

Dla zapewnienia obsługi zespołu sterującego, po obu stronach platformy – za wyjątkiem wyłącznika hamulca, wyprowadzono ciągła i uchwyty dźwigni urządzeń wchodzących w skład zespołu. Na przegubowych wieśzakach zamocowano uchwyty ciągła odłużniacza



Rys. 6. Instalacja układu ważenia wagonu

zaworu rozrządczego, które służą, poprzez pociągnięcie, do opróżniania zbiornika sterującego i przez to do luzowania cylindrów hamulcowych wagonu.



Rys. 7. Tablica przestawcza T/O

Wybór w eksploatacji nastawienia układu hamulcowego (towarowy/osobowy) umożliwia tablica przestawcza T/O – typowa dla wagonów towarowych i stosowana na PKP. Dzięki wykorzystaniu przekładni zębatej, która zamienia kierunek obrotu na przeciwny, uzyskano spójne dla obsługi z obu stron platformy położenie dźwigni tablicy przestawczej T/O (po lewej stronie „T”, po prawej „O”). Aktualny stan układu hamulcowego wskazuje położenie dźwigni i można je odczytać bezpośrednio z oznaczenia na tablicy przestawczej (rys. 7).

Obsługa wyłącznika hamulca możliwa jest tylko od strony, po której zabudowano zespół sterujący i odbywa się przez obrót rękojści tablicy wyłącznika hamulca w skrajne jej położenie: poziome – włączony, pionowe – wyłączony (rys. 8).



Rys.8. Zabudowa wyłącznika hamulca pneumatycznego

Do celów diagnostycznych (na potrzeby personelu obsługującego), modułowy system transportu wyposażono w sygnalizację stanu układu hamulcowego. Wykorzystano typowe dwuokienkowe wskaźniki stanu hamulca tarczowego stosowane na PKP. Zabudowano je po obu stronach wagonu w obu jej częściach: platformie i adapterze – łącznie cztery wskaźniki (rys. 9).



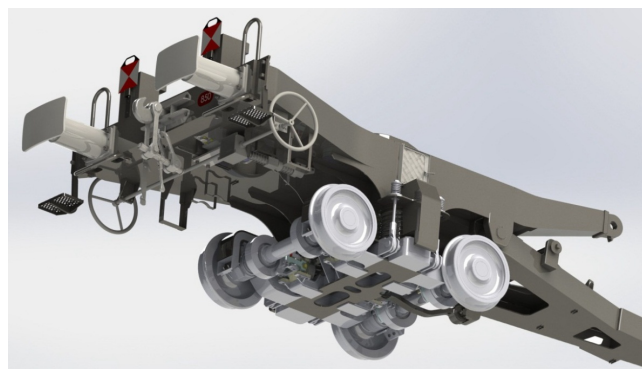
Rys.9. Zabudowa wskaźnika hamulca pneumatycznego: (na platformie – po lewej, na adapterze – po prawej)

Każdy wskaźnik wyposażony jest w dwa okienka, w których wystąpić mogą symbole: diagonalny czarny krzyż na białym polu, zielone pole i pole czerwone z czarnym punktem, informując o aktualnym stanie układu hamulcowego. Możliwe są następujące stany wskaźnika:

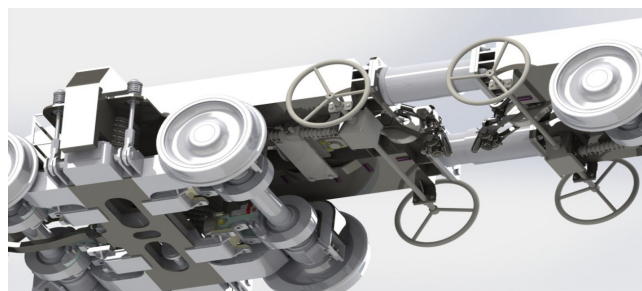
		Brak zasilania pneumatycznego wagonu, nieznaną stan hamulca ręcznego
		Hamulec pneumatyczny wyluzowany, hamulec ręczny wyluzowany
		Hamulec pneumatyczny wyluzowany, hamulec ręczny zahamowany
		Hamulec pneumatyczny zahamowany, nieznaną stan hamulca ręcznego (może być zahamowany lub wyluzowany)

2.2. Hamulec ręczny

Układ wykonawczy hamulca ręcznego postojowego zintegrowanego z mechanizmem zaciskowym, który posiada przełożenie wewnętrzne i dopuszcza na dźwigni hamulca ręcznego maksymalną siłę 50 kG.



Rys. 10. Hamulec ręczny adaptera wagonu



Rys. 11. Hamulec ręczny platformy wagonu

Ze względu na czynności eksploatacyjne konieczne do obsługi modułowego systemu do transportu kombinowanego i częste „odstawianie” adaptera wagonu, wyposażono go w niezależny hamulec ręczny z przynależnym wskaźnikiem stanu hamulca. Hamowanie postojowe wagonu realizowane jest na dwóch skrajnych osiach wagonu (rys. 10 i 11).

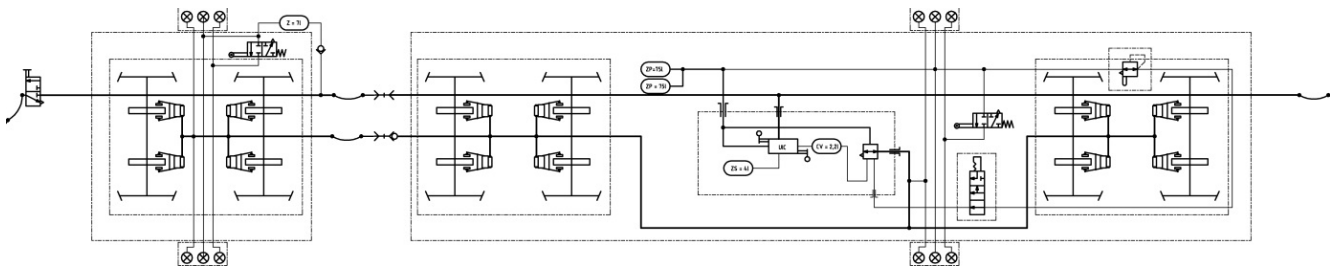
Uruchomienie hamulca postojowego odbywa się przez obrót koła w prawo. Docisk pary ciernej okładzina-tarcza realizowany jest przez mechanizm z przełożeniem wewnętrznym gwarantującym odpowiedni nacisk okładzin na tarcze. Zwolnienie hamulca postojowego odbywa się przez obrót koła w kierunku przeciwnym.

Do współpracy hamulca ręcznego ze wskaźnikiem stanu hamulca wykorzystano zawór sterowany dźwignią z rolką typu NC (normalnie zamknięty). Poprzez ugięcie dźwigni tego zaworu, zawór otwiera się powodując doprowadzenie sprężonego powietrza do odpowiedniego okienka wskaźnika stanu hamulca, co skutkuje wyświetleniem właściwego symbolu czerwonego pola z czarną kropką w okienku wskaźnika.

2.3. Instalacja pneumatyczna

Projekt instalacji pneumatycznej (rys. 12) obejmuje instalację adaptera oraz instalację platformy. Na instalację pneumatyczną składa się:

- obwód przewodu głównego biegnący wzdłuż dwuwagonowego zespołu z elastycznym połączeniem pomiędzy dwoma wagonami zespołu modułowego oraz adapterem i platformą w obszarze każdego z wagonów; dwuwagonowe



Rys. 12. Instalacja pneumatyczna połowy dwuwagonowego zespołu modułowego

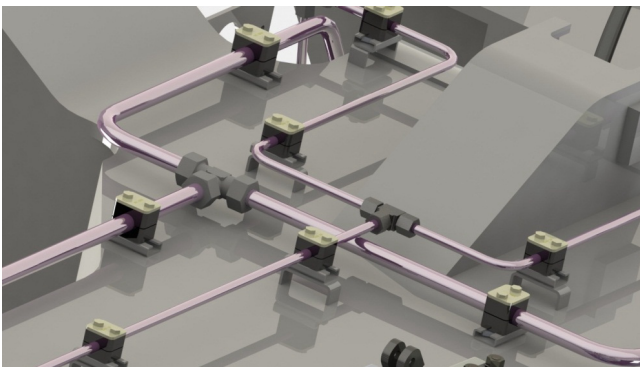
zespoły, stanowiące moduł systemu do transportu kombinowanego, połączone zostały ze sobą półspręgami elastycznymi i kurkami końcowymi

- obwód zasilania cylindrów mechanizmów zaciskowych
- obwody dodatkowe: układ ważenia wagonu oraz układ diagnostyczny wskaźnika hamulca tarczowego.

Przewody pneumatyczne wykonano z rur precyzyjnych stalowych wg PN-EN 10305-4. Są to rury bez szwu, ciągnięte na zimno. Do mocowania przewodów zastosowano obejmy mocujące z tworzywa sztucznego przykręcane do szyn montażowych. Średnice zastosowanych rur to odpowiednio (średnica zewnętrzna x grubość ścianki):

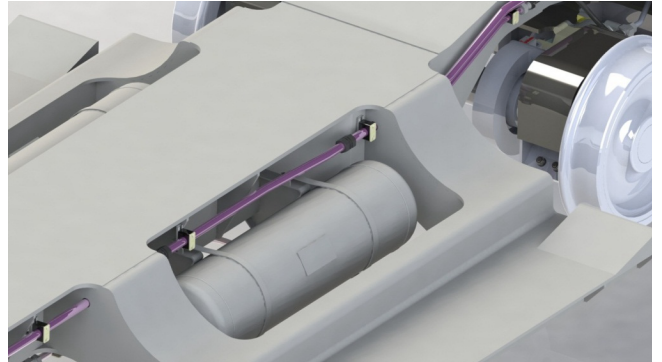
- dla przewodu głównego (PG) – 28x2 mm
- dla przewodu zbiornika pomocniczego (ZP) – 22x2
- dla przewodu cylindrowego (C) – 18x2 mm
- dla pozostałych przewodów – 10x1,5 mm

Poszczególne odcinki instalacji pneumatycznej – stalowe odcinki rur - połączone są złączkami firmy EMB z pierścieniem zacinającym typu DSW z elastomerowym uszczelnieniem (rys. 13).



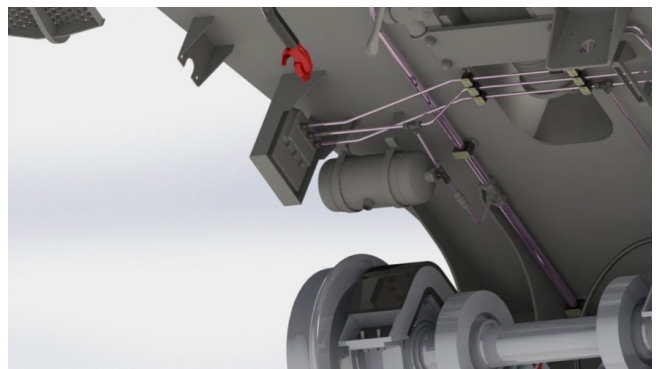
Rys. 13. Przewody instalacji pneumatycznej – połączenia i mocowania

Zbiornik pomocniczy o pojemności 150l, z uwagi jego wymiary geometryczne, zabudowano w obszarze obniżonej części platformy i podzielono na dwa mniejsze zbiorniki o pojemności 75 l każdy (rys. 14).



Rys. 14. Zabudowa zbiornika pneumatycznego wagonu

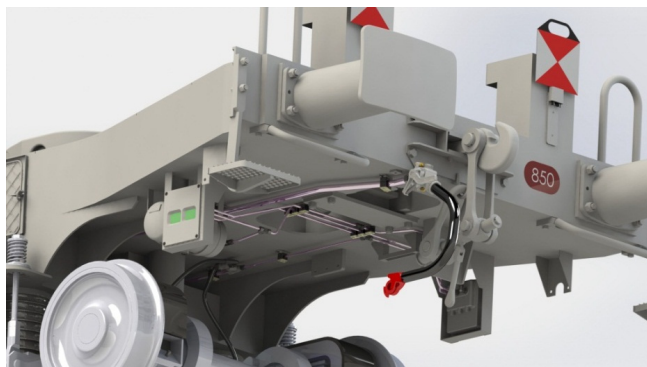
Dla zapewnienia poprawnej pracy wskaźników stanu hamulca zabudowanych w części adaptera wagonu, zastosowano dodatkowy zbiornik o pojemności 7 l – typu B wg PN/K-88207 (rys. 15). Zasila on sprężonym powietrzem wskaźnik hamulca tarczowego, zabudowany na adapterze, mimo eksploatacyjnego „odstawienia” adaptera od platformy – co między innymi ma miejsce podczas najazdu naczepy drogowej na platformę.



Rys. 15. Zabudowa zbiornika dodatkowego

Ze względu na warunki eksploatacji systemu transportowego, pneumatyczne połączenie adaptera z platformą wagonu zrealizowano przewodami elastycznymi w stalowym oplocie z zakończeniami typu szybkozłącze. W części instalacji pneumatycznej doprowadzającej sprężone powietrze do cylindrów mechanizmów zaciskowych, szybkozłącze łączące adapter z platformą dodatkowo wyposażono w zawór zwrotny, który chroni przez opróżnieniem cylindrów podczas rozłączania adaptera od platformy.

Dwa wagony, tworzące moduł systemu transportowego, połączono przewodem elastycznym. W obrębie systemu transportowego moduły łączone są półsprężem elastycznym i wyposażone są w kurki końcowe (rys. 16).



Rys. 16. Kurek końcowy z półsprężem elastycznym na czołownicy

3. OBLICZENIA I BADANIA SYMULACYJNE

Obliczenia skuteczności układu hamulca wagonu bimodalnego zostały wykonane wg karty UIC 544-1: Hamulec. Hamowność 4 wydanie z maja 2004r. Opracowano je w zgodzie z załącznikiem P w/w karty UIC – „Obliczenia wzorcowe dla wagonów osobowych, Wagon osobowy z hamulcem tarczowym z automatycznym urządzeniem hamowania w zależności od obciążenia”, gdyż brak jest schematu dla obliczeń wagonu towarowego z hamulcem tarczowym.

Poza obliczeniami analitycznymi dla pojedynczego wagonu przeprowadzono metodą komputerową symulację hamowania pociągu towarowego 500 m, traktowanych jako próby doświadczalne pociągu.

Pozwala to na określenie hamowności pociągu uwzględniając z dużą dokładnością rozchodzenie się sygnałów sterowania hamulcem wzdłuż pociągu.

Przemieszczanie się tych sygnałów wzdłuż pociągu zależne jest od konfiguracji i przekroju przewodu głównego, oporów ruchu powietrza z podziałem na opory tarcia przewodu i opory lokalne wywołane niewielkimi lokalnymi zmianami przekrojów i zmianami kierunku przepływu powietrza.

Powietrze w przewodzie głównym zmieniając ciśnienie powoduje również zmianę jego temperatury. Powoduje to przepływ ciepła między powietrzem w przewodzie, a jego ściankami i otoczeniem. Wywołuje to dodatkową zmienność stanu gazu w przewodzie. Zostało to uwzględnione w modelu układu.

Układ równań dynamiki gazu w przewodzie został opisany metodą elementów skończonych (MES) i uzupełniony o modele dyskretnie przepływu powietrza w wagonowych elementach układu sterowania hamulcem, w układach zaworów rozrządnych, zbiorników, cylindrów i układów par ciernych.

Siły hamowania poszczególnych wagonów, wywołane ciśnieniem w cylindrach wraz z siłami oporów

ruchu pojazdów stanowią z kolei drugą część systemu obliczeń dynamiki pociągu. Parametry poszczególnych składowych układu pneumatycznego zostały zidentyfikowane i zweryfikowane w autorskim [4] systemie dynamiki układu hamulcowego.

Symulacji dokonano programem HAMPO4 w zmodyfikowanej wersji z 2013 r.

Dokonano symulacji dla następujących konfiguracji:

- pociąg 500 m obciążenie brutto, hamowanie z 100 km/h
- pociąg 500 m bez naczep, hamowanie z 100 km/h
- pociąg 500 m z próżnymi naczepami, hamowanie z 100 km/h
- pojedynczy wagon obciążenie brutto, hamowanie z 100 km/h
- pojedynczy wagon bez naczepy, hamowanie z 100 km/h
- pojedynczy wagon z próżną naczepą, hamowanie z 100 km/h
- pojedynczy wagon hamowanie z 120 km/h.

Przedstawiono wybrane wyniki dla pociągu 500 m, obciążenie brutto, hamowanie z 100 km/h w postaci (rys. 17, 18):

- przebieg ciśnień w przewodzie głównym i cylindrach bloków hamulcowych,
- zmienność prędkości jazdy w czasie,
- prędkość jazdy w funkcji drogi.

Wyniki symulacji nie różnią się znacznie dla obliczeń analitycznych, gdyż hamulec tarczowy posiada stabilny w funkcji prędkości współczynnik tarcia.

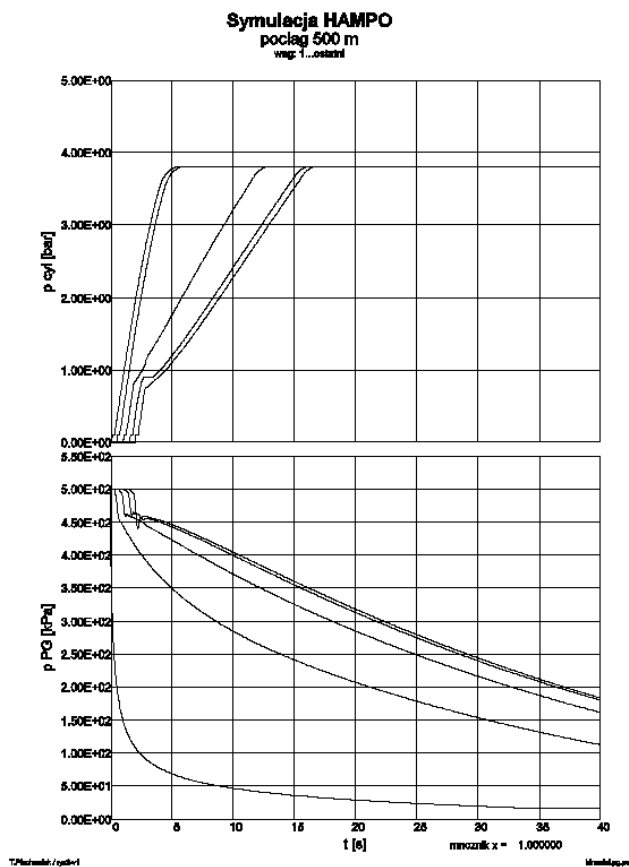
Hamowność wagonów w stanie ładowny jest wystarczająca i pozwala na poruszanie się pociągu z prędkością 100 km/h. Pojazd z naczepą próżną zapewnia utrzymanie wagonu na pochyleniu 19%. Dla większych pochyłeń toru należy stosować płozy hamulcowe. Ewentualne zwiększenie skuteczności hamulca ręcznego można by uzyskać zwiększając liczbę zacisków hamulca postojowego.

Układ hamulcowy wagonu nie powoduje niebezpieczeństwa blokowania kół ze względu na przyczepność. Należy rozważyć zmniejszenie skuteczności hamowania (zmniejszenie ciśnienie powietrza w cylindrach) dla stanu „pojazd bez naczepy”, gdyż dla tego stanu zachodzi większe zagrożenie blokadą kół.

4. PODSUMOWANIE

Układ wagonu do przewozu naczep drogowych na wózkach kolejowych nie jest typowym pojazdem kolejowym. Dużym ułatwieniem podczas projektowania było wykorzystanie metod CAD.

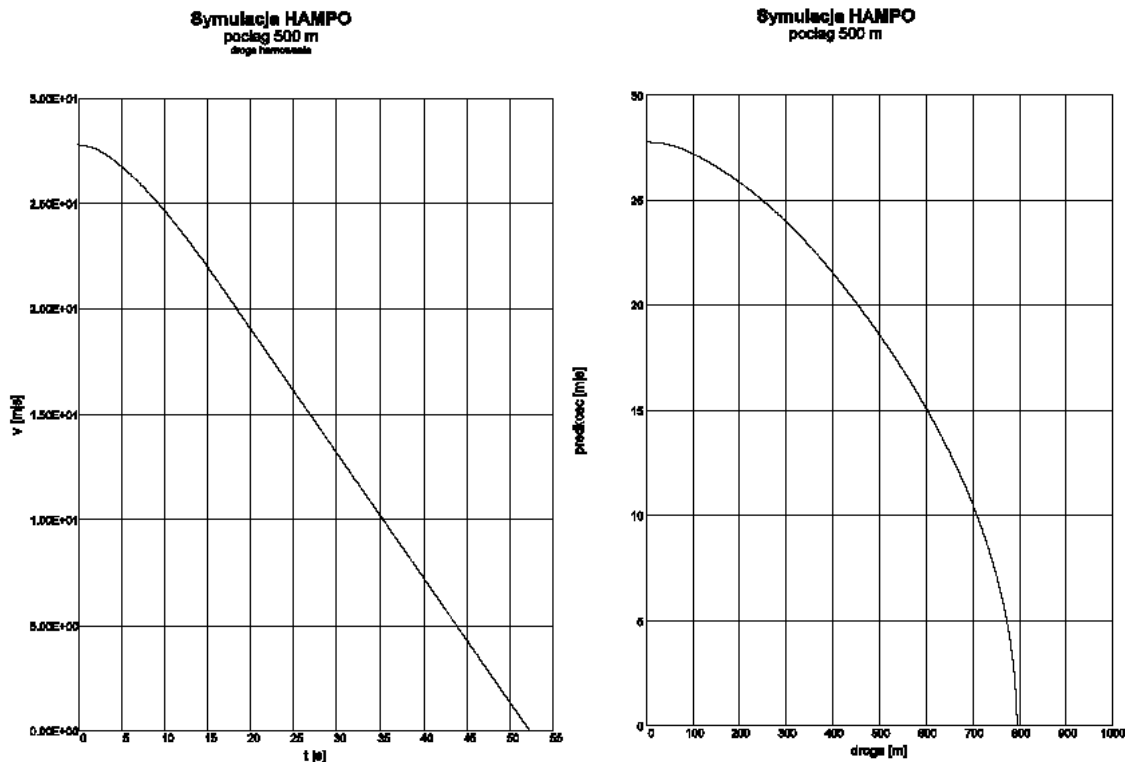
Zastosowanie nietypowego układu hamulcowego wymagało w celu uwiarygodnienia jego właściwości prócz normalnych metody projektowania, użycia opracowanej metody symulacji dowolnego hamulca kolejowego przedstawionej m. in. w [7], której wyniki posiadają większą pewność i dokładność odwzorowania układu rzeczywistego.



Rys. 17. Przykładowa symulacja hamowania pociągu 500 m. Przebiegi ciśnień w miejscach zaworów rozrządczych nr. 1, 7, 15, 23, 31

Bibliografia

- [1] Projekt rozwojowy „System transportu naczeł drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym”, nr R 10-0065-10 zrealizowany w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu
- [2] Karta UIC 544-1. Hamulec – Hamowność. Wydanie 4. Maj 2004.
- [3] Madej J., Medwid M.: Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu rozwojowego nr 10-0065-10 pt. System transportu naczeł drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym. Poznań 2013. Archiwum IPS TABOR.
- [4] Medwid M., Cichy R., Nowaczyk T.: Model strukturalny systemu transportu naczeł drogowych na wózkach kolejowych w ruchu kombinowanym kolejowo-drogowym, Pojazdy Szynowe nr 2/2011, Wydawnictwo IPS TABOR.
- [5] Piechowiak T.: Metoda matematycznego modelowania układu pneumatycznego hamulca pojazdu szynowego, Pojazdy Szynowe nr 3/2005, Wydawnictwo IPS TABOR.
- [6] Piechowiak T.: Modelowanie układu mechanicznego w urządzeniach pneumatycznych hamulca, Pojazdy Szynowe nr 3-4/2004, Wydawnictwo IPS TABOR.
- [7] Piechowiak T.: Hamulce pojazdów szynowych. Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2012 r., s. 321



Rys.18. Przykładowy przebieg prędkości i drogi hamowania 500 m pociągu z 100 km/h