

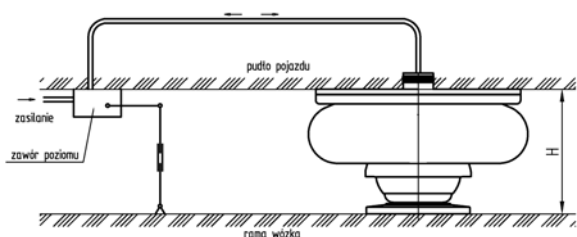
Układ aktywnego sterowania zawieszeniem pneumatycznym pojazdów szynowych

W artykule omówiono aktualny zakres prac zrealizowanych w ramach projektu celowego nr: 6ZR6 2009C/07185 „System zawieszenia pneumatycznego wagonów osobowych, zespołów trakcyjnych i lekkich pojazdów szynowych z układem aktywnego sterowania”. Przedstawiono i uzasadniono celowość wprowadzenia w przyszłości mikroprocesorowego sterowania zawieszeniem pneumatycznym przeznaczonego dla pojazdów szynowych. Opisano badane sprężyny pneumatyczne oraz zaprezentowano zbudowane w IPS Tabor stanowisko do ich wszechstronnych badań.

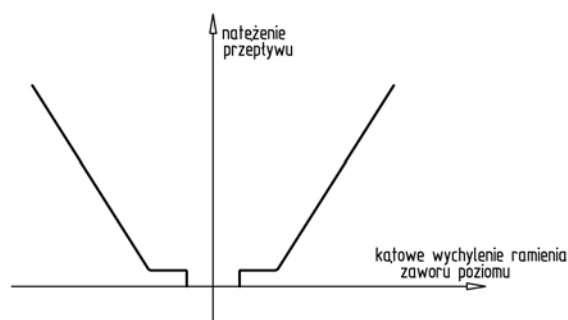
1. Opis stanu dotychczasowego

Dotychczasowe układy usprężynowania pneumatycznego pojazdów szynowych składają się z siłowników pneumatycznych i układu sterowania ciśnieniem w zawieszeniu pneumatycznym (rys.1) opartym na tak zwanych zaworach pneumatycznych poziomu.

Zawory te zasilane są sprężonym powietrzem z przewodu zasilającego najczęściej poprzez układ ograniczający maksymalne ciśnienie w tym zawieszeniu (np. poprzez reduktor ciśnienia). Zawór poziomy jest zaworem napełniająco-oprózniająca sterowanym położeniem dźwigni połączonej mechanicznie z wózkiem poprzez regulacyjną śrubę rzymską z dwoma przegubami kulistymi. Zawór posiada pewną stałą histerezę i zmienną zdolność napełniania i opróżniania w funkcji wychylenia kąowego jego ramienia (rys. 2).



Rys.1 Dotychczas stosowany system sterowania



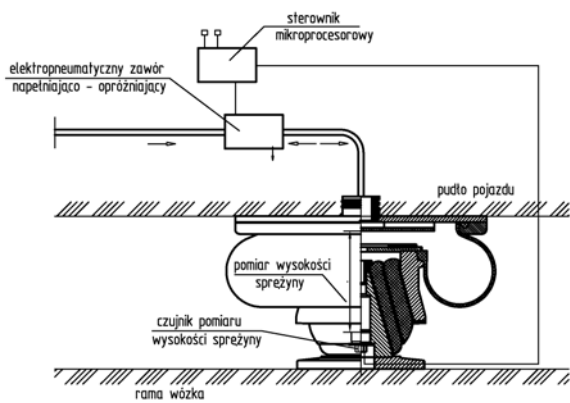
Rys. 2 Histereza i przebieg zmienności natężenia przepływu zaworka napełniającego i opróżniającego zaworu poziomu w funkcji wychylenia kąowego jego ramienia

Zawór poziomy montowany jest na podwoziu pojazdu i poprzez ramię dźwigni oraz regulacyjną śrubę rzymską połączony jest z ramą wózka. Dzięki temu po zasileniu zaworu poziomym sprężonym powietrzem następuje napełnianie sprężyny pneumatycznej (siłownika pneumatycznego) do momentu aż nie osiągnie ona zadanej (wyregulowanej długością śruby rzymskiej) wysokości. Zmiana obciążenia pudła prowadzi do zmiany wysokości sprężyny i tym samym do jej napełniania lub opróżniania przez zawór poziomy sterowany położeniem kąowym ramienia dźwigni. Dzięki temu bez względu na obciążenie pojazdu poziom podłogi pojazdu znajduje się na stałej wysokości względem główki szyny, z dokładnością wynikającą z histerezy ugięcia niezbędnej do otwarcia zaworka napełniającego lub opróżniającego.

2. Układ mikroprocesorowego sterowania ciśnieniem zawieszenia pneumatycznego

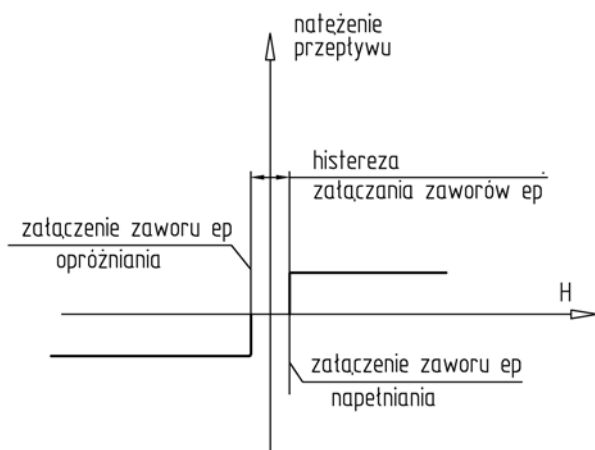
Docelowe sterowanie mikroprocesorowe zawieszenia pneumatycznego pojazdu składać się będzie z czujnika ultradźwiękowego lub laserowego umieszczonego wewnątrz sprężyny pneumatycznej do pomiaru jej wysokości, sterownika zawieszenia (CPU), zaworu elektropneumatycznego napełniającego i opróżniającego sprężynę, a w przyszłości również innych czujników mierzących stan pojazdu podczas jazdy (rys. 3).

Sterowanie mikroprocesorowe umożliwi sterowanie wysokością sprężyny tak by niezależnie od wartości obciążenia sprężyny (pojazdu) jej wysokość pozostawała stała. Ponadto umożliwi wyeliminowanie używających się mechanicznych elementów zawieszenia, takich jak zawór poziomy sterowany ramieniem dźwigni oraz śruby rzymskiej z przegubami kulistymi. Dodatkowo dzięki zastosowaniu mikroprocesorowego sterowania ciśnieniem w sprężynach pneumatycznych zawieszenia pojazdu szynowego z elektrycznym pomiarem wysokości sprężyny, układ może zapewniać podczas eksploatacji:



Rys. 3. Ogólny układ sprężyny pneumatycznej sterowanej mikroprocesorowo

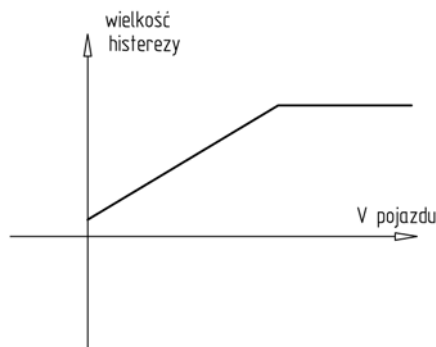
- zmienną regulowaną wysokość podłogi pojazdu (możliwość automatycznego dopasowania się wysokości pułta do zróżnicowanej wysokości peronów),
- realizację sztucznej wymuszonej przechyłki pojazdu w łuku w funkcji zmierzonego przyspieszenia dośrodkowego (poprawa komfortu i możliwość zwiększenia prędkości maksymalnej pojazdu w łuku),
- możliwość wprowadzenia zmiennej histerezy zawieszenia pneumatycznego (rys.4) w zależności od parametrów dynamicznych zmierzonych podczas jazdy pojazdu np. prędkości (rys.5) czy przyspieszeń (rys.6). Na przykład dla prędkości $V=0$ km/h histereza może wynosić ± 1 mm, a dla innych prędkości może być regulowana i zmieniać się np proporcjonalnie do prędkości.



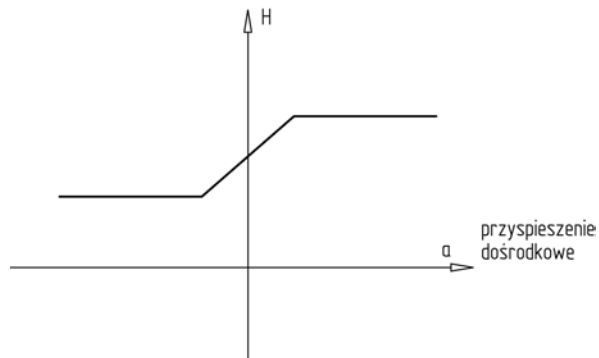
Rys.4. Histereza i charakterystyka napięcia przepływu powietrza przez elektrozawór sterowany mikroprocesorowo

3. Elementy zawieszenia pneumatycznego pojazdu

W ramach projektu opracowano dwa siłowniki (sprężyny) pneumatyczne pokrywające zapotrzebowanie obciążeń stosowanych w pojazdach szynowych. Zgodnie z podstawowymi parametrami charakteryzującymi przedmiot wdrożenia opracowane siłowniki powinny pokryć zapotrzebowanie obciążenia pionowego

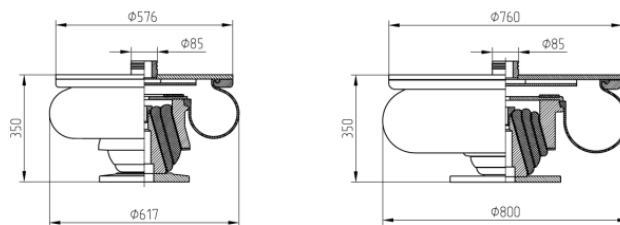


Rys. 5. Wielkość histerezy w funkcji prędkości pojazdu



Rys. 6. Zmiana wysokości sprężyny pneumatycznej w funkcji przyspieszenia dośrodkowego

wego co najmniej w zakresie 8 – 16 ton masy pułta pojazdu przypadającego na jeden siłownik (sprężynę). W związku z powyższym do realizacji przyjęto dwa rodzaje sprężyn pneumatycznych: o średnicy około 600 mm i o średnicy 800 mm (rys. 7).



Rys. 7. Widok ogólny przyjętych do realizacji sprężyn pneumatycznych

Sprężyna o średnicy 600 mm (dla lekkich pojazdów szynowych) może realizować następujące obciążenia:

- przy ciśnieniu 200 kPa około 5 650 kg,
- przy ciśnieniu 400 kPa około 11 300 kg.

Sprężyna o średnicy 800 mm może realizować następujące obciążenia:

- przy ciśnieniu 200 kPa około 10 000 kg,
- przy ciśnieniu 400 kPa około 20 000 kg.

Zakłada się, że dla obu sprężyn pneumatycznych następujące podstawowe parametry:

- maksymalne dopuszczalne ciśnienie 700 kPa,
- maksymalne ciśnienie robocze 500 kPa,
- minimalne ciśnienie robocze 100 kPa,
- maksymalne ugięcie pionowe około 60 mm,
- maksymalne odbicie pionowe około 160 mm

W ramach projektu opracowano dokumentację techniczną sprężyny pneumatycznej o średnicy około 600 mm i dokumentację techniczną sprężyny pneumatycznej o średnicy 800 mm spełniające wyżej podane wymagania. W skład dokumentacji obu sprężyn pneumatycznych wchodzi „miechy pneumatyczne” o wyżej wymienionych średnicach i zunifikowane specjalne sprężyny gumowo-metalowe oparcia awaryjnego. Sprężyny te wykorzystywane są w pojeździe w przypadku awaryjnego sprężystego oparcia pudła na ramie wózka, na skutek awarii układu zawieszenia pneumatycznego w pojeździe. Unifikacja sprężyn gumowo-metalowych polega na tym, że sprężyny dla obu średnic miecha składają się z dwu zunifikowanych wymiarowo elementów gumowych. Sprężyna gumowo-metalowa sprężyny pneumatycznej o średnicy 600 mm składa się tylko z dwu elementów gumowych zwulkanizowanych ze stożkowymi tulejami stalowymi, a sprężyna gumowo-metalowa sprężyny pneumatycznej o średnicy 800 mm składa się z trzech elementów gumowych przy czym dwa z nich są identyczne jak w sprężynie pneumatycznej o średnicy 600 mm.

Wyżej wymieniona dokumentacja techniczna została opracowana w oparciu o wymagania zawarte w aktualnie obowiązującej normie PN-EN 13597 „Kolejnictwo – Gumowe elementy zawieszenia – Gumowe przepony sprężyn zawieszenia pneumatycznego listopad 2003 (norma europejska: EN13597:2003 Railway applications – Rubber suspension component – Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs”).

W ramach projektu firma „Intergum” opracowała dokumentację oprzyrządowania, form i technologii wytwarzania sprężyn pneumatycznych, w oparciu o dokumentację techniczną sprężyn opracowaną przez IPS Tabor. Wykonane przez firmę „Intergum” oprzyrządowanie i formy posłużyły do wykonania prototypowych sprężyn pneumatycznych do przewidzianych w projekcie badań, które są przeprowadzane na opracowanym i wykonanym przez IP stanowisku do badań.

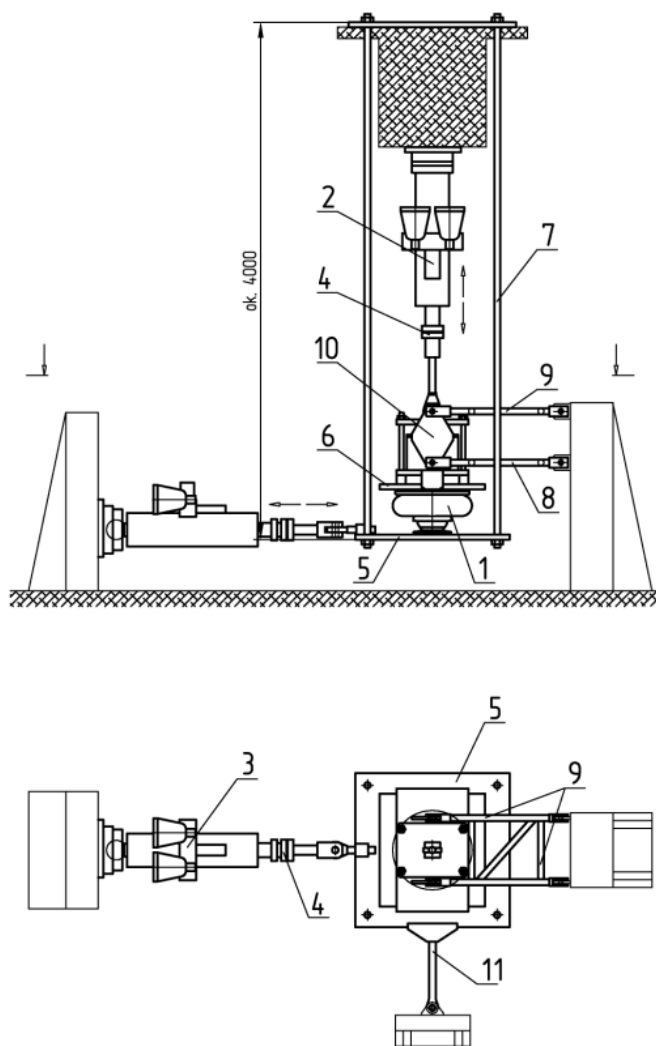
W ramach realizowanego zadania wytypowano do badań układu: czujnik pomiaru odległości, dobrany sterownik mikroprocesorowy do sterowania zawieszeniem pneumatycznym oraz wytypowano zawór elektropneumatyczny napełniająco-oprzężniający do badań układu i opracowano niezbędne oprogramowanie do przeprowadzenia prób na stanowisku badawczym. Dla docelowego układu wytypowano ciśnieniowy (do 6 bar) czujnik ultradźwiękowy do pomiaru wysokości UP56-211118 firmy Sicomocowany wewnątrz sprężyny pneumatycznej, natomiast do badań zakupiono czujnik ultradźwiękowy MIKROSONIC typ mic+35/IU/TC firmy Introl. Czujnik ten podczas badań jest zamocowany pomiędzy płytami sprężyny pneumatycznej. Do

badania wytypowano sterownik mikroprocesorowy RSSA 8iA 10o24 10i24 wyprodukowany przez IPS Tabor i zawór napełniająco-oprzężniający 7ZH 510000-1-00 również produkcji IPS Tabor.

Stanowisko do badań zawieszenia opracowano w zakresie funkcjonalnym oraz w celu możliwości zrealizowania badań zgodnie z wymaganiami określonych w normie PN-EN 13597 „Kolejnictwo – Gumowe elementy zawieszenia – Gumowe przepony sprężyn zawieszenia pneumatycznego”, których celem jest potwierdzenie możliwości spełnienia przez wykonane zawieszenie pneumatyczne postawionych założeń.

4. Stanowisko do badań sprężyn pneumatycznego zawieszenia

Na rys. 8 przedstawiono projekt stanowiska do badań gumowych elementów zawieszenia zgodnie z normą PN-EN 13597 oraz aktywnego układu zawieszenia pneumatycznego.



Rys. 8. Stanowisko do badań sprężyn pneumatycznych

Stanowisko umożliwia wytworzenie wymaganych obciążeń i ugięć w kierunku pionowym i poprzecznym a także umożliwia wzajemne przemieszczenia promieniowe i obrót podstaw sprężyny.

Do realizacji obciążeń pionowych i poprzecznych służą dwa siłowniki serwo-hydrauliczne (2 i 3) typu PL 160N firmy Instron o zakresie ± 160 kN i skoku ± 125 mm. Przegubowo zamontowany siłownik poziomy (3) umożliwia realizację przemieszczeń poprzecznych podstawy sprężyny oraz przy w przypadku połączenia dolnej płyty (5) z ciągiem (11) zapewnia jej obrót (rys. 11) - wymagany dodatkowo programem prób.

Obciążenia osiowe i poprzeczne mierzone są dynamometrami tensometrycznymi (4) typu PM 160GL2 firmy Instron o zakresie ± 160 kN współpracującymi ze wzmacniaczami pomiarowymi serii 8800.

W celu zapewnienia warunków pracy odpowiadającym pracy sprężyn pneumatycznych zamontowanych pomiędzy pudłem i ramą wózków na pojazdach szynowych, oraz w celu spełnienia wymagań w/w normy podczas badań gumowych elementów zawieszenia, płytę dolną (5), na której zamontowano sprężynę (1) zawieszono na wieszakach (7) o długości około czterech metrów. Zapewnia to zachowanie wystarczającej równoległości płyty dolnej do płyty górnej (6) w trakcie realizacji obciążeń i przemieszczeń poprzecznych pomiędzy płytami, wywołanymi siłownikiem (3).

Natomiast dla zachowania równoległego położenia płyty górnej względem płyty dolnej podczas obciążeń i przemieszczeń w kierunku pionowym i poprzecznym (wywołanych podczas badań siłownikiem pionowym 2 i siłownikiem poziomym 3), płytę górną sprężyny pneumatycznej połączono z dwoma płytami bocznymi (10) i z równoległymi sztywnymi wahaczami (8 i 9) stanowiącymi wspólnie czworobok przegubowy.

Ogólny widok zrealizowanego stanowiska do badań sprężyn pneumatycznych przedstawiono na rys.9 i 10.

Na stanowisku można też dokonywać pomiarów przemieszczeń w kierunku pionowym i poziomym, pomiarów ciśnienia w sprężynie pneumatycznej, pomiarów wysokości sprężyny oraz rejestracji tych parametrów w funkcji czasu. Na stanowisku można również przebadать układ mikroprocesorowego sterowania wysokością sprężyny pneumatycznej, którego schemat blokowy pokazano na rys. 12.



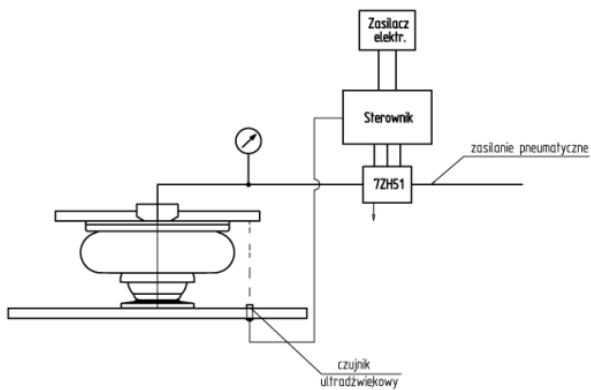
Rys. 9. Ogólny widok stanowiska do badań sprężyn pneumatycznych



Rys. 10. Fragment stanowiska badawczego z badaną sprężyną pneumatyczną



Rys. 11. Sprężyna w trakcie badań oddziaływania na nią przemieszczeń poprzecznych i obrotowych



Rys.12. Układ mikroprocesorowego sterowania wysokością sprężyny pneumatycznej na stanowisku badawczym

5. Zakończenie

Na przedstawionym stanowisku badawczym przebadano już sprężynę pneumatyczną o średnicy 800 mm zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 13597 oraz wykonano część zaplanowanych prób z zastosowaniem sterowania mikroprocesorowego. Wykonana w ramach wymienionego na wstępie projektu celowego sprężyna pneumatyczna o średnicy 800 mm spełniła wymagania wyżej wymienionej normy. Badania będą kontynuowane w 2012 roku i obejmą także sprężynę o średnicy około 600 mm. Przeprowadzenie badań w całym zakresie i dla obydwu rodzajów sprężyn oraz analiza uzyskanych wyników pozwoli na ostateczną, całościową ocenę badanego układu aktywnego sterowania zawieszeniem pneumatycznym dla pojazdów szynowych.