

Andrzej BŁAŻEJEWSKI, Sebastian GŁOWIŃSKI

STANOWISKO DO OKREŚLANIA WŁAŚCIWOŚCI LEPKO-SPRĘŻYSTYCH I DYNAMICZNYCH CHARAKTERYSTYK ELEMENTÓW ZAWIESZENIA POJAZDU

W artykule omówiony został problem badania właściwości lepko-sprężystych elementów zawieszenia pojazdów. Dobór właściwej charakterystyki zawieszenia pojazdu ma zasadnicze znaczenie, nie tylko dla komfortu jazdy, ale również dla bezpieczeństwa. Obecnie stosuje się coraz szerzej zawieszenia regulowane, gdzie sztywność elementów jest dobierana indywidualnie w zależności od warunków jazdy. Niezbędna jest więc znajomość właściwości tłumiących, lub inaczej lepko-sprężystych, poszczególnych elementów składowych zawieszenia. Jednym z rozwiązań stanowiska do wyznaczania tych właściwości, jest rozwiązanie przedstawione w tym artykule. Prezentowane stanowisko składa się z dwóch zasadniczych części: elektromechanicznej (napędowej) oraz pomiarowej (tory pomiarowe). Wykonano na stanowisku przykładowe badania i dokonano analizy przy wykorzystaniu środowiska obliczeniowo-analitycznego sygnałów otrzymanych z torów pomiarowych. W tym przypadku zastosowano oprogramowanie LabView oraz Matlab.

WSTĘP

Bezpieczeństwo użytkowników dróg zależy od wielu czynników, między innymi od stanu zawieszenia pojazdów. Współczesne samochody są wyposażone w układy, których zadaniem jest zapewnienie jak największego komfortu kierowcy i pasażerów, z jednoczesnym utrzymaniem ich bezpieczeństwa. Służą do tego amortyzatory, które utrzymują koła w ciągłym kontakcie z podłożem. Wytrzymałość tych podzespołów eksploatowanych na polskich drogach wynosi około 60 000 km. Nowoczesne pojazdy są wyposażone w systemy bezpieczeństwa czynnego jak ESP i ABS, które nieprawidłowo pracują przy nadmiernym zużyciu amortyzatorów. Ich wadliwe działanie powoduje duże amplitudy przyspieszeń drgań nadwozia, wydłużenie drogi hamowania, nadmierne przechyły i pochylenia pojazdu decydujące o komforcie jazdy i stabilności. W efekcie końcowym występuje szybsze zużycie elementów pojazdu i niszczenie nawierzchni drogi.

1. ZASADA DZIAŁANIA AMORTYZATORÓW

Amortyzator podczas pracy jest poddawany ścisaniu i rozciąganiu (odbicie). Składa się ze zbiornika wyrównawczego, cylindra roboczego, tłoka, tłoczyska i jego prowadnicy oraz zaworu dennego. Tłok porusza się w cylindrze wypełnionym olejem. Otwory lub zawory umieszczone w tłoku, umożliwiają przepływ oleju z jednej jego strony na drugą. Proces ten rozprasza energię zgromadzoną w elementach sprężystych zawieszenia, poprzez zmianę energii kinetycznej ruchu tłoka w ciepło, które jest przekazywane do otoczenia. Przykładowy amortyzator tłumiący pokazany jest na rysunku 1, wskazany przez cyfrę 3. Zadaniem amortyzatora jest pochłanianie energii zawieszenia, ale zasadniczą jego rolą jest jej rozpraszanie. W następstwie rozpraszania tej energii, system amortyzatorów zabezpiecza pojazd przed nagłym działaniem sił pionowych, wywołanych nierównościami nawierzchni, których energia nie jest pochłonięta przez elementy sprężyste. Z drugiej strony chroni przed drganiami, które mogą generować się w nietłumionym układzie. Zawieszenie wyposażone w odpowiednie amortyzatory (o odpowiednio dobranej charakterystyce lepko-sprężystej) zmniejsza zmęczenie kierowcy i zużycie części i podzespołów pojazdu.

Jednym z parametrów określających tłumienie zawieszenia jest tzw. tłumienie odbicia. Przykładowo, w motocyklu regulację tłumienia odbicia w przednim zawieszeniu można wykonać np. naciskając kierownicę, przy jednoczesnym naciśnięciu hamulca i sprawdzeniu z jaką prędkością wróci ono do stanu początkowego po zwolnieniu naciśnięcia. Rozkład siły tłumienia odbicia można zweryfikować naciskając na motocykl tuż za wlewem paliwa i obserwując czy tył wraca nieco wolniej niż przód. Ustawienie tłumienia odbicia zależy przede wszystkim od upodobań kierowcy. Regulację zaczyna się od małych wartości, stopniowo je zwiększając po jazdach testowych realizowanych na tej samej trasie. Zwiększenie tłumienia odbicia polepsza kontrolę nad motocyklem i zmniejsza możliwość „dobicia” zawieszenia. Jednak nadmiar w tym zakresie generuje ograniczenie zakresu działania amortyzatora i tym samym ograniczone niwelowanie oddziaływania nierówności podłoża na pojazd i kierowcę. Nieprawidłowe działanie amortyzatora może powodować nadmierne lub niewystarczające tłumienie odbicia. Pierwsze z nich w przypadku motocykla może powodować przeniesienie tylnego koła z wyboju na wybój i nie nadążanie za wgłębieniami w nawierzchni. Może występować odbijanie się tylnego koła podczas hamowania, „nie przysiadanie” tyłu podczas przyspieszania, a tym samym podsterowność na wyjazdach z zakrętów, przegrzewanie amortyzatora i w efekcie spadek sprawności zawieszenia w trakcie jazdy. Niewystarczające tłumienie odbicia może powodować: zbyt szybkie wysuwanie się tylnego zawieszenia podczas hamowania skutkujące „podbiciem tyłu”, niestabilność przy „przekładaniu” motocykla z zakrętu w zakręt, kołysanie na boki po dodaniu gazu przy wychodzeniu z zakrętu, „przysiadanie” tyłu przy ostrym otwarciu skutkujące utratą przyczepności przodu motocykla. Jeśli chodzi o zawieszenie przednie, zbyt silne tłumienie odbicia może powodować: nadsterowność, niedostateczną przyczepność przedniej opony, szczególnie podczas gwałtownego hamowania, wrażenie „chowania się” opony pod pojazd, słabe tłumienie nierówności nawierzchni. Z kolei zbyt słabe tłumienie odbicia może powodować: podsterowność, niestabilność przodu motocykla, głębokie „nurkowanie” podczas hamowania. Przykład zachowania się motocykla, w którym mamy do czynienia z niewłaściwie dobranymi parametrami elementu tłumiącego zawieszenia, pokazuje niebezpieczeństwa na jakie jest narażony pojazd i kierowca. W przypadku jednoślada można regulować właściwości amortyzatora, i jak opisano powyżej, metodą

prób i błędów dobrać właściwe ustawienia w zależności od wymagań kierowcy lub warunków drogowych. W przypadku samochodów takich metod nie stosuje się a właściwości elementów zawieszenia bada się i dobiera na podstawie pomiarów stanowiskowych [1-6].

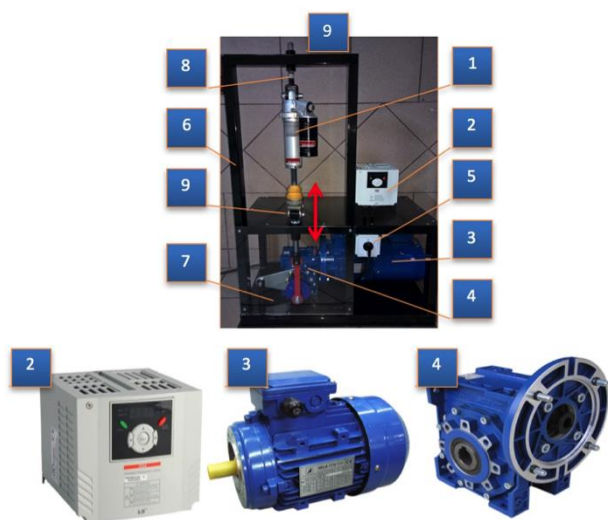
2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Pracę elementów zawieszenia, takich jak: amortyzator, sprężyna oraz całe podzespoły zawieszenia można badać na dedykowanym w tym celu stanowisku. Opracowane stanowisko do badań amortyzatorów zbudowane zostało od podstaw i nie jest kopią istniejących rozwiązań. W opracowanym stanowisku można wyróżnić dwie zasadnicze części: elektromechaniczną oraz część pomiarową (tor pomiarowy) [6].

2.1. Elektromechaniczna część stanowiska

Zadaniem części elektromechanicznej jest symulacja różnych warunków jazdy poprzez wymuszanie pracy tłoków amortyzatora. Na rysunku 1 zobrazowano stanowisko, które składa się z: 1 – amortyzatora wraz ze sprężyną gazową, 2 – falownika, 3 – silnika elektrycznego, 4 – przekładni ślimakowej z reduktorem i układem mimośrodowym, 5 - włącznika zasilania, 6 – stalowej ramy z podstawą, 7 – osłony z pleksi. Na część torów pomiarowych, opisanych dalej, składają się: 8 – miejsce mocowania czujnika siły i 9 – miejsce mocowania czujnika do pomiaru położenia i prędkości ruchu tłoczyska. Ruch wymuszany jest 3-fazowym silnikiem elektrycznym VELA-STM włoskiej firmy STM, zasilanym prądem o napięciu 230/400V (50Hz), o mocy 2,2kW. Znamionowa prędkość obrotowa wynosi 2800 obr/min, a wielkość mechaniczna 90L2. Silnik z korpusem aluminiowym o masie 16,5 kg zaznaczony jest na rysunku 1 i wskazany cyfrą 3.

Moment z wału silnika przekazywany jest na układ mimośrodowy, do którego mocowany jest badany element zawieszenia. Pośredniczy w tym reduktor - przekładnia ślimakowa firmy STM UMI 63. Parametry przekładni pokazanej na rysunku 1, wskazanej cyfrą 4 są następujące: przełożenie 1:10, przekazywany moment obrotowy minimalny 80 Nm oraz maksymalny 195 Nm (zależy od chwilowej mocy silnika), przekazywana moc minimalna 0,15 kW oraz maksymalna 4,1 kW (zależy od przełożenia), masa 6 kg.



Rys. 1. Część elektromechaniczna stanowiska: 1 – amortyzator wraz ze sprężyną gazową, 2 – falownik, 3 – silnik, 4 – przekładnia-reduktor wraz układem mimośrodowym, 5 - włącznik zasilania, 6 – stalowa rama z podstawą, 7 – osłona z pleksi, 8 – miejsce mocowania czujnika siły, 9 – miejsce mocowania czujnika do pomiaru położenia i prędkości ruchu tłoczyska

2.2. Część pomiarowa (tory pomiarowe)

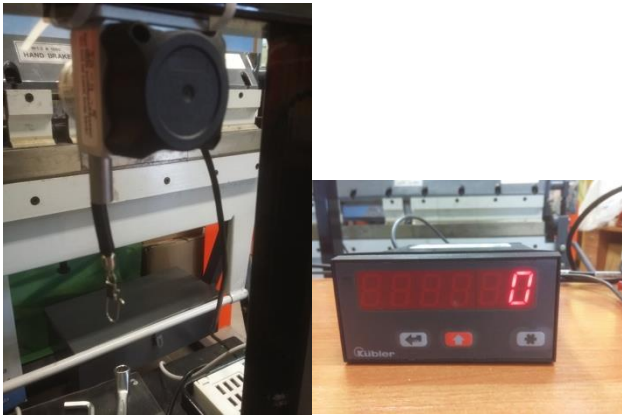
Część pomiarową stanowiska rozdzielono na dwa toru pomiarowe. Pierwszy tor związany jest z pomiarem i rejestracją siły, a drugi prędkości ruchu amortyzatora lub innego elementu badanego. Do rejestracji siły tłumienia działającej zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi na element układu zawieszenia, w tym przypadku amortyzatora wykorzystano czujnik firmy Wobit typu tensometrycznego KMM20-2kN, o zakresie pomiarowym 0-2kN. W celu wzmocnienia sygnału z czujnika zastosowano dedykowany, zewnętrzny układ mostkowy, tej samej firmy, typu WDT1. Miejsce zamocowania czujnika na stanowisku pomiarowym pokazano na rysunku 1 wskazane cyfrą 8. Szczegóły połączenia gwintem M8 ze śrubą mocującą do ramy oraz do widłek utrzymujących element badany (amortyzator) oraz czujnik siły, jego mocowanie i zewnętrzny układ mostkowy pokazano na rysunku 2. Drugi tor pomiarowy służy do pomiaru i rejestracji prędkości ruchu. Składa się on z przetwornika A50 firmy Kubler, w którym zaimplementowano enkoder linkowy do pomiaru pozycji z wyjściem impulsowym, długość linki 1,25m, max. prędkość przesuwu linki 10m/s i max. przyspieszeniu 300 m/s².

Przetwornik A50 zamocowano do górnej ramy stanowiska przy czujniku siły, jak pokazuje rysunek 1 z cyfra 9, co umożliwiło pomiar zgodnie z kierunkiem pokazanym czerwoną strzałką na tym rysunku. Przetwornik A50 to enkoder inkrementalny zestawiony z układem linkowym, który umożliwia przełożenie ruchu prostoliniowego na ruch obrotowy enkodera. Odbywa się to poprzez rozwijanie i następnie zwijanie linki na krążek układu linkowego. Enkoder w tym czasie sczytuje z dwóch kanałów pomiarowych generowane w nim impulsy, dając informację o położeniu końca linki oraz o kierunku jej rozwijania.



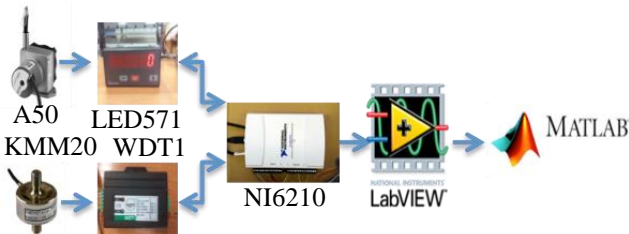
Rys. 2. Część pomiarowa stanowiska (tor pomiaru siły tłumienia): usytuowanie oraz mocowanie czujnika siły KMM20-2kN i zewnętrzny układ mostkowy WDT1

Do wskazania prędkości lub pozycji, z możliwością skalowania oraz z wyjściem analogowym zastosowano licznik typu LED 571 tej samej firmy Kubler. Podstawowe elementy składowe toru pomiarowego prędkości pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Część pomiarowa stanowiska (tor pomiaru prędkości): usytuowanie oraz mocowanie endkodera A50 oraz licznik LED571

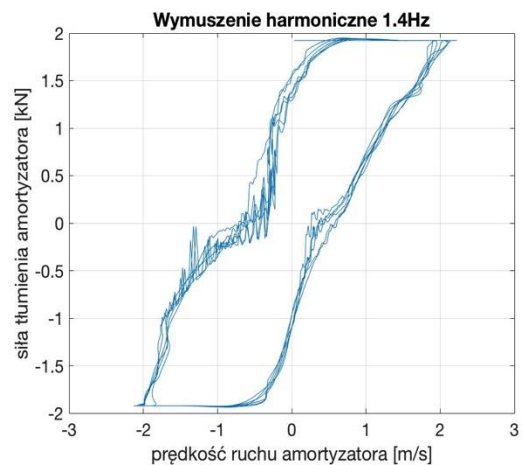
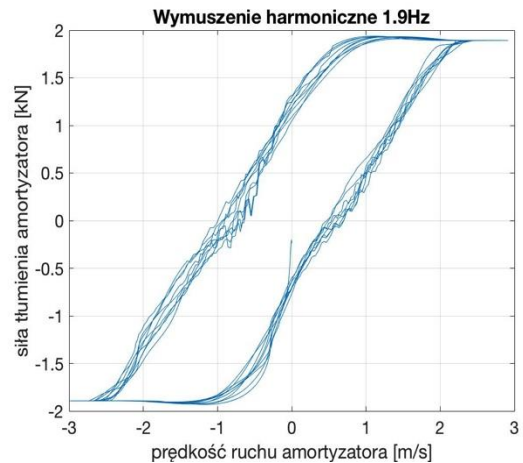
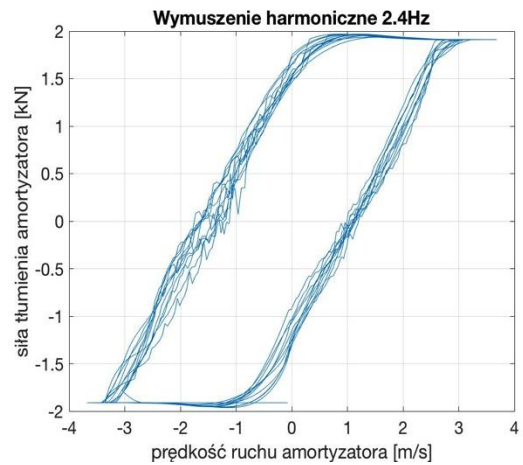
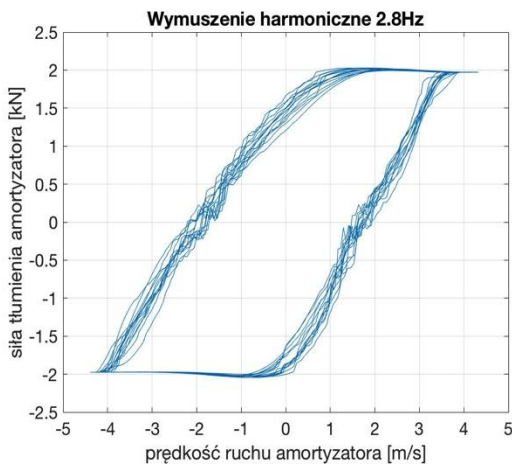
Oba sygnały „zebrane” zostały w karcie pomiarowej National Instruments NI USB 6210 i przekierowane poprzez złącze USB do środowiska LabView, gdzie były rejestrowane.



Rys. 4. Tory pomiarowe stanowiska oraz zastosowane elementy

3. PRZYKŁADOWE CHARAKTERYSTYKI

Zarejestrowane sygnały przetwarzano dalej w środowisku Matlab. Dokonano w nim niezbędnych czynności, takich jak np. całkowanie sygnału przemieszczenia i jego filtrację. Dzięki zastosowaniu na stanowisku układu falownika można było zmieniać częstotliwość wymuszenia, a tym samym i prędkość ruchu. Ze względu na specyficzną budowę stanowiska było to wymuszenie o charakterze harmonicznym o jednakowym skoku (amplitudzie przemieszczenia tłoczyska). Przykładowe charakterystyki dynamiczne badanego amortyzatora, przy różnym charakterze wymuszenia, pokazano na rysunku 5



Rys. 5. Charakterystyki dynamiczne badanego amortyzatora przy różnym charakterze wymuszenia

Do oceny stanu technicznego amortyzatora zaproponowano wartość siły tłumienia wyznaczoną w czasie kilkunastu cykli pracy przy danej częstotliwości. Przy częstotliwości wymuszenia harmonicznego 2,8Hz zauważalna jest asymetria charakterystyki tłumienia badanego amortyzatora. Przy niższych częstotliwościach różnice charakterystyk są nieznaczne. Siła tłumienia amortyzatora w czasie ruchu ściskania jest większa niż przy rozciąganiu, co szczególnie jest uwidocznione na pierwszym wykresie rysunku 5, co oznacza prawidłową pracę badanego obiektu. Wynika to z faktu, że wartość prędkości względnej koła (np. względem nadwozia) podczas pokonywania nierówności wypukłej, jest o wiele większa od prędkości względnej podczas przejazdu przez wgłębienie w podłożu. Stąd żeby w czasie ściskania amortyzatora nie doszło do przeniesienia zbyt dużych

wartości sił na nadwozie pojazdu siła oporu jest mniejsza niż przy rozciąganiu.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań amortyzatora na stanowisku badawczym potwierdziły słuszność proponowanej metody identyfikacji parametrów dynamicznych elementów podatnych w zawieszeniu pojazdów. Zbudowane stanowisko umożliwia w krótkim czasie uzyskanie pełnych charakterystyk dynamicznych co pozwala na identyfikację stanu technicznego badanych elementów. W przyszłości planowane jest przeprowadzenie badań amortyzatorów tego samego typu, ale o różnym stopniu zużycia i wyznaczenie ich charakterystyk. Należy również dodać, że na tego typu stanowisku można również wyznaczać inne charakterystyki oraz badać innego typu elementy, takie jak np. elementy zawieszenia siedzisk kierowców samochodów ciężarowych oraz operatorów maszyn roboczych.

BIBLIOGRAFIA

1. Gabryelewicz M., Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych. Część 2. Układ hamulcowy i kierowniczy, zawieszenie oraz nadwozie. WKiŁ, Warszawa 2013.
2. Kamiński E., Drgania pojazdów i teoria zawiesznień. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1977.
3. Kamiński E., Pokorski J., Dynamika zawiesznień i układów napędowych pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
4. Sikorski J., Amortyzatory pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 1970.
5. Weighill K., Motocykle. Poradnik obsługi i naprawy. WKiŁ, Warszawa 2012.
6. Błażejowski A., Jędrzejczak S., Stanowisko do badania elementów zawieszenia pojazdów jednośladowych, „Technika Transportu Szybnego” 12015, nr 12.

Test stand for examination of viscoelastic properties and dynamic characteristics of vehicles suspension elements

In this paper results of tests of vertical dynamic wheel loads due to changes of suspension damping level are presented. This research allows to calculate a viscoelastic properties of suspension elements such as dampers and shock absorbers. These elements are essential for drivers comfort and moreover for their safety. At the test stand presented in this work, the changes of damping level were performed using semi-active shock absorbers. Article presents suspension goals, methods of test with information about used apparatus and sensors. At the end of article, the results in the form of characteristics, are presented and interpreted using LabView and Matlab software.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Błażejowski** – Politechnika Koszalińska, Wydział Technologii i Edukacji, 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2, andrzej.blazejewski@tu.koszalin.pl

dr hab. inż. **Sebastian Głowiński** – Politechnika Koszalińska, Wydział Technologii i Edukacji, 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2, sebastian.glowinski@tu.koszalin.pl