

Jacek GRALIŃSKI, Bogusław ŁAZARZ, Piotr CZECH, Adam MAŃKA, Mirosław WITASZEK

KOMFORT JAZDY SAMOCHODEM OSOBOWYM Z ZAWIESZENIEM KLASYCZNYM I AKTYWNYM

Streszczenie

Zastosowane w samochodach osobowych rozwiązania konstrukcyjne zawieszenia muszą spełniać szereg wymogów, do których należą zapewnienie odpowiedniego komfortu jazdy, czy też bezpiecznego zachowania się samochodu podczas jazdy w różnych warunkach. Niestety część wymogów wyklucza się wzajemnie, dlatego też na świecie trwają ciągłe prace mające na celu opracowanie systemów mogących pogodzić sprzeczne wymagania. Przedstawione w pracy badania miały na celu porównanie poziomu drgań oddziaływujących na kierowcę i pasażerów w trakcie jazdy samochodem osobowym. W badaniach sprawdzano różnicę w odczuwalnym komforcie jazdy samochodem z klasycznym i aktywnym zawieszeniem. Dodatkowo sprawdzano wpływ wybranego trybu działania aktywnego zawieszenia – komfort i sport. Badania przeprowadzono dla różnych prędkości jazdy samochodu poruszającego się po zróżnicowanych nawierzchniach drogi – nawierzchnia asfaltowa, kostka brukowa, betonowe płyty.

WSTĘP

Zawieszenie samochodu osobowego w prostej linii pochodzi z tego, które stosowano w powozach konnych. Wtedy, za pomocą pasów skórzanych, a w XIX wieku już resorów piórowych, łączono nadwozie z podwoziem.

Od zawieszenia pojazdów samochodowych oczekuje się więcej niż od tego z powozów, choćby dla tego, że samochody jeżdżą znacznie szybciej i są bardziej obciążone. Ich zawieszenie musi spełniać wiele wymagań. Zgodnie z oczekiwaniami zawieszenie ma odpowiednio zachowywać się w różnych warunkach jazdy. Wtedy, gdy pojazd jest mniej lub bardziej obciążony, porusza się na równej i nierównej nawierzchni, jedzie prosto lub po łukach dróg, przyspiesza, czy też hamuje. Ta wielość wymagań w zasadzie sprowadza się do dwóch zasadniczych – zapewnienia komfortu i stateczności pojazdu podczas jazdy.

W celu zwiększenia komfortu jazdy w powozach łączono pasami nadwozie z podwoziem. Chciano, aby drgania, pochodzące od miejsc styku kół z nawierzchnią przenoszone na nadwozie, były mniej odczuwane przez jadących.

Zawieszenia współczesnych samochodów są zaawansowane technicznie. Uwzględniając komfort jazdy opracowuje się je tak, by skok kół jezdnych był dostatecznie duży. Jednocześnie nie tak duży, aby nierówności nawierzchni wywoływały poziome ruchy kół. Zawieszenie powinno być elastyczne w kierunku wzdłużnym, ale znowu nie nadmiernie, bo pogorszy się precyzja prowadzenia samochodu, która jest najlepsza przy sztywnym zawieszeniu kół. Elastyczność ta nie powinna powodować wzdłużnych przemieszczeń kół, wywołanych siłami powstającymi podczas przyspieszania i hamowania.

Wymienione uwarunkowania dotyczące zawiesznień rozpatrywanych pod kątem wygody jazdy są poniekąd sprzeczne z tymi, które są potrzebne do opracowania zawieszenia zapewniającego stateczność pojazdu i jego kierowność. Można powiedzieć, że pierwsze z nich powinno być miękkie, drugie sztywne.

W celu uzyskania dobrej stateczności i kierowności, stosuje się odpowiednie ustawienie kół względem nawierzchni. Ustawienie to, nazywane geometrią, jest bardzo istotne. Może przeciwdziałać wzdłużnym przechyłom nadwozia podczas przyspieszania i hamowania oraz zapobiegać nadsterowności pojazdu.

Kierowność i rozmieszczenie elementów układu przenoszenia napędu mają decydujący wpływ na konstrukcję zawieszenia. Pod względem konstrukcji, zawieszenia samochodów dzieli się na zależne i niezależne.

Starszym rozwiązaniem jest zawieszenie zależne, czyli ze sztywnym połączeniem kół tej samej osi.

W drugim rodzaju zawieszenia kół – niezależnego, koła tej samej osi są połączone niezależnie, mogą wykonywać ruchy indywidualnie. Głównymi zaletami tego typu zawieszenia są m.in. zwarta budowa, niewielka masa, łatwość skrętu kół w przypadku osi napędzanej.

Dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne to najczęściej mechaniczne elementy prowadzące i resorujące oraz hydrauliczne elementy tłumiące, nazywane amortyzatorami. Charakterystyka ich pracy jest stała lub zmienna tylko w niewielkim zakresie. Dlatego opracowuje się tzw. aktywne zawieszenia.

W zawieszeniach aktywnych charakterystyka jest regulowana – dotyczy to zarówno resorowania, jak i tłumienia. Dąży się do uzyskania stałego położenia nadwozia nad nawierzchnią drogi, niezależnie od obciążenia pojazdu i warunków jazdy. Skutkuje to ograniczeniem przechyłów podłużnych występujących podczas przyspieszania i hamowania oraz poprzecznych, występujących w czasie jazdy po łuku. Jednocześnie wpływa to na poprawę komfortu jazdy przez zmniejszenie kołysania samochodu.

Analiza zjawisk drganiowych, w tym ich oddziaływań w czasie jazdy samochodem osobowym, jest od lat tematem wielu prac [1-12, 14-23, 25-27, 29-30, 32-36], w tym związanych z redukcją drgań [2-16, 23-24, 27-28, 31-33].

W artykule przedstawiono analizę komfortu jazdy samochodem osobowym o konstrukcji zawieszenia typu klasycznego oraz aktywnego. Analiz dokonano dla dwóch wybranych samochodów z każdej z grup. Badano wpływ prędkości jazdy samochodu oraz nawierzchni, po której się poruszał na odczucia towarzyszące pasażerowi siedzącemu w pierwszym rzędzie siedzeń.

1. OPIS BADAŃ

Badania przeprowadzono dla samochodów z zawieszeniem klasycznym – Citroen Xsara 1,9 TD, oraz aktywnym – Mercedes S500 4-matic.

Mercedes wyposażony jest w zawieszenie aktywne AIRMATIC DC i system ABC – Aktive Body Control zapobiegający przechyłom nadwozia podczas pokonywania zakrętów. AIRMATIC DC jest innowacyjnym zawieszeniem pneumatycznym, które eliminuje konieczność kompromisu, wynikającego z dążenia zarówno do płynnej jazdy, jak i dobrych właściwości skrętnych, co w przypadku konwencjonalnego układu zawieszenia te dwie cechy wzajemnie się wykluczają. AIRMATIC DC pozwala na płynniejszą regulację pracy zawieszenia podczas normalnej jazdy. W czasie pokonywania ostrego zakrętu zawieszenie zostaje automatycznie usztywnione, aby zredukować przechyły nadwozia i zwiększyć kontrolę nad kierunkiem jazdy i stabilnością auta. Do amortyzowania wykorzystywany jest Adaptive Damping System, który stale reguluje siłę tłumienia amortyzatorów w oparciu o analizę warunków panujących na drodze oraz styl jazdy. Dodatkowo możliwa jest regulacja twardości zawieszenia przez kierowcę przyciskiem na desce rozdzielczej. Podczas jazdy w momencie przekroczenia prędkości wynoszącej 140 [km/h], nadwozie zostaje samoczynnie obniżone o 15 [mm] w celu obniżenia środka ciężkości i tym samym poprawienia własności jezdnych. Jeżeli prędkość jazdy spadnie poniżej 70 [km/h], to nadwozie powraca do położenia standardowego. Na drogach o złej jakości można ręcznie podnieść nadwozie o 25 [mm] pod warunkiem, że prędkość jazdy nie przekroczy 80 [km/h].

W przeprowadzonych badaniach sprawdzono działania trzech trybów aktywnego zawieszenia – kom-fort, sport 1 i sport 2.

Citroen ma zawieszenie niezależne o następującej konstrukcji – z przodu wahacze poprzeczne, kolumny McPhersona i drążek stabilizujący, z tyłu drążki skrętne i stabilizator.

Pomiary były wykonywane podczas jazdy samochodu z prędkością 30 [km/h], 40 [km/h] i 50 [km/h].

W trakcie badań samochód poruszał się po drodze o zróżnicowanej nawierzchni, w tym:

- nawierzchni asfaltowej,
- kostce brukowej,
- płytach betonowych.

Trasę, którą pokonywał samochód w trakcie pomiarów przedstawiono na rysunku 1.

Pomiar przyspieszeń drgań wykonano przy wykorzystaniu cyfrowego miernika Svan 912A połączone-go z czterokanałowym modułem wejściowym SV06A.

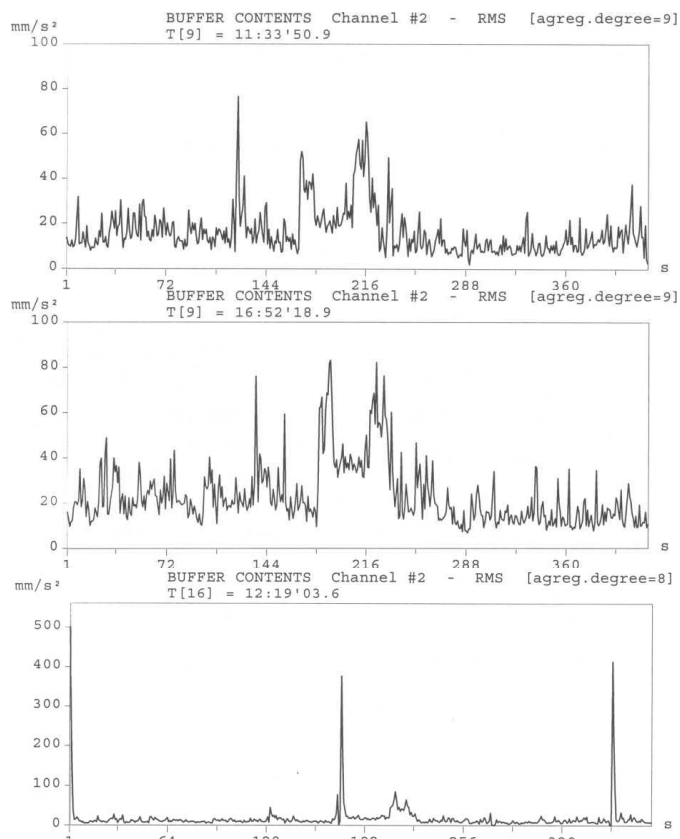
W trakcie pomiarów w każdym z samochodów znajdował się kierowca i pasażer. Pasażer siedział na poduszcze, która poprzez moduł SV06A przekazywała pomiary zarejestrowane w trzech osiach do miernika.



Rys. 1. Trasa wykorzystywana w badaniach drogowych

2. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 2 pokazano przykładowe przebiegi drgań zarejestrowanych podczas przejazdu trasy testowej z prędkością 30 [km/h].

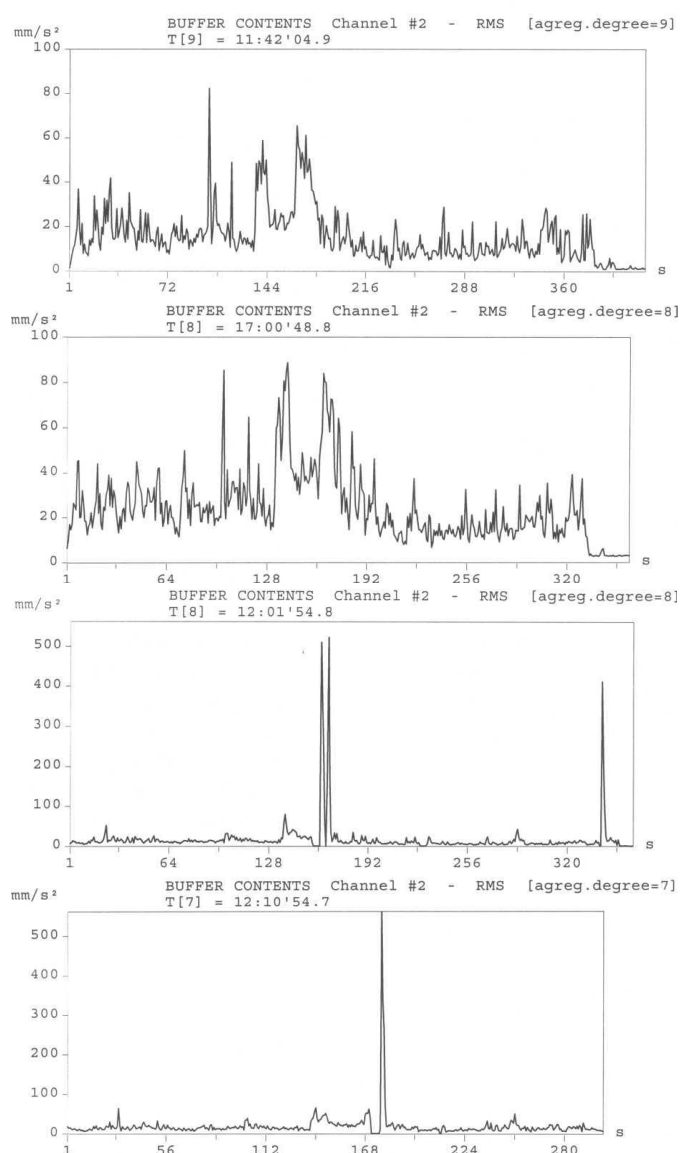


Rys. 2. Drgania przy prędkości jazdy 30 [km/h], zawieszenie: (a) aktywne w trybie komfort, (b) klasyczne, (c) aktywne w trybie sport 2

Już przy tak małej prędkości zarysowuje się przewaga Mercedes. Poziom zarejestrowanych drgań mieści się w zakresie od 10 do ok. 35 [mm/s²]. W przypadku Citroena drgania osiągają poziom 50 [mm/s²]. Podczas przejazdu przez większe nierówności, jak i na odcinku brukowym i z płyt betonowych, poziom drgań w Mercedesie nie przekracza 80 [mm/s²], natomiast w Citroenie dochodzi do 90 [mm/s²].

Zupełnie inaczej zachowuje się zawieszenie aktywne przy przejściu na tryb sportowy. Następuje wyraźne wyczuwalne usztywnienie zawieszenia. Wyraźnie widać różnicę między nastawami komfortowymi, a sportowymi. Przy nastawach sportowych drgania są o wiele bardziej odczuwalne. Dochodzą one nawet do 400 [mm/s²], co przy maksymalnej wartości ok. 80 [mm/s²] przy nastawach komfortowych jest znaczącą różnicą.

Nie inaczej sytuacja przedstawia się przy prędkości jazdy wynoszącej 40 [km/h]. Widać tu, że zakres zarejestrowanych drgań dla samochodu z zawieszeniem klasycznym i aktywnym o nastawach komfortowych mieści się w podobnym zakresie (rys. 3).

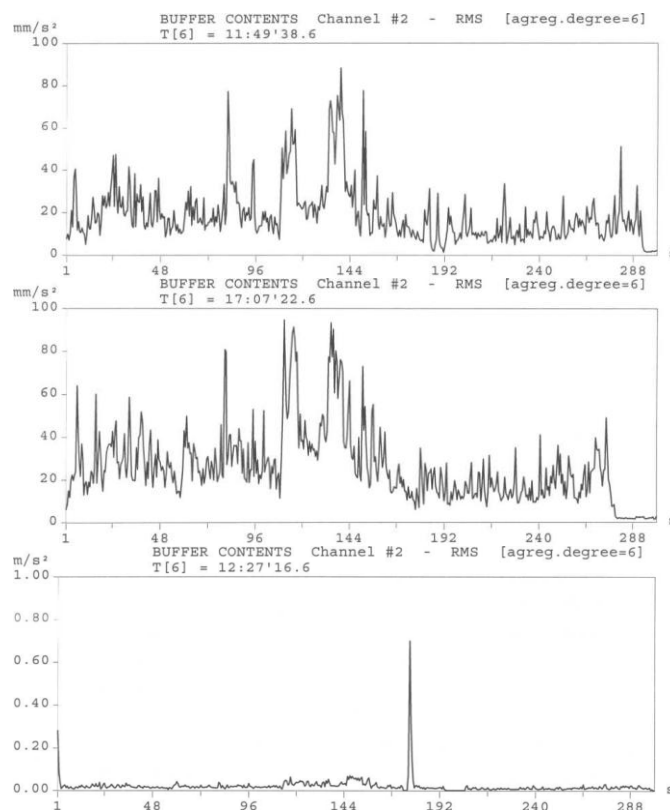


Rys. 3. Drgania przy prędkości jazdy 40 [km/h], zawieszenie: (a) aktywne w trybie komfort, (b) klasyczne, (c) aktywne w trybie sport 1, (d) aktywne w trybie sport 2

Porównując otrzymane charakterystyki z zarejestrowanymi przy prędkości 30 [km/h] widać, że te uzyskane podczas badania samochodu z zawieszeniem aktywnym są zbliżone do siebie. Drgania mieszczą się w podobnym zakresie. Nieco inaczej sprawa wygląda dla przebiegów zarejestrowanych w samochodzie z zawieszeniem klasycznym. Można tu zaobserwować wzrost drgań przy przejeździe przez nierówności z maksymalnej wartości 80 [mm/s²] przy 30 [km/h] do około 90 [mm/s²] przy 40 [km/h].

W przypadku zawieszenia aktywnego w trybie sport, drgania kształtują się na podobnym poziomie, jak przy prędkości 30 [km/h]. Jedynie podczas przejazdów przez duże nierówności poziom zarejestrowanych drgań przekracza 500 [mm/s²]. Spowodowane jest to tym, że przy sportowych nastawach zawieszenia, jego usztywnienie jest wyraźnie zauważalne. Szczególnie widać to w trybie sport 2, przy którym poziom drgań przy przejeździe przez poprzeczną nierówność osiąga wartość 600 [mm/s²]. Ma to wyraźny wpływ na obniżenie komfortu jazdy, jednak równocześnie wpływa znacząco na poprawę własności jezdnych podczas szybkiego pokonywania zakrętów.

Wyniki pomiarów uzyskane dla prędkości 50 [km/h] pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Drgania przy prędkości jazdy 50 [km/h], zawieszenie: (a) aktywne w trybie komfort, (b) klasyczne, (c) aktywne w trybie sport 2

Jak widać na zarejestrowanej charakterystyce dla aktywnego zawieszenia ustawionego w trybie komfort, również przy prędkości 50 [km/h] drgania są na poziomie podobnym, jak przy prędkościach 30 – 40 [km/h]. Nie przekraczają wartości 90 [mm/s²] na odcinku drogi z płyt betonowych, natomiast podczas jazdy po asfaltowej nawierzchni mieszczą się w granicach 15 – 45 [mm/s²]. Jest to zasługą układu aktywnego zawieszenia i systemu niwelowania wychyleń i drgań nadwozia.

Przy sportowym ustawieniu aktywnego zawieszenia można zauważyć, że podczas przejazdu przez poprzeczną nierówność drgania osiągają wartość 700 [mm/s²]. Potwierdza to tylko wyciągnięte wcześniej wnioski, że przy zmianie z nastawów komfortowych na sportowe, następuje wyraźne usztywnienie charakterystyki pracy zawieszenia.

Dla samochodu z klasycznym zawieszeniem można zauważyć, że powyższej charakterystyki widzimy, że podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej, przenoszone drgania mieszczą się w zakresie od ok. 20 [mm/s²] do 60 [mm/s²]. W przeciwieństwie do zawieszenia aktywnego o nastawach komfortowych, można tu po raz kolejny zauważyć wzrost wartości drgań. Zawieszenie aktywne utrzymuje stały i niski poziom drgań karoserii samochodu. Nieco inaczej sprawa wygląda przy nastawach sportowych. Odczuwa się tu wyraźne usztywnienie zawieszenia i jednocześnie obniżenie komfortu, ale tym samym wyraźną poprawę właściwości jezdnych.

Przedstawioną analizę wyników oparto o zarejestrowane przebiegi drganiowe w jednym kierunku działania. Przebiegi drgań zarejestrowanych w innych kierunkach mieszczą się w innych zakresach, ale ich charakter zmian jest podobny i na ich podstawie można wyciągnąć analogiczne wnioski.

PODSUMOWANIE

Konstruktorzy zawiesznień w samochodach osobowych od wielu lat zastanawiają się nad problemem, jak najlepiej połączyć komfort

jazdy z popularnie nazywaną stabilnością lub statecznością, czyli bezpiecznym zachowaniem się samochodu na drodze.

Początkowo pojazdy nie miały w ogóle zawieszenia, co w połączeniu z mizernym stanem dróg bardzo źle odbijało się na trwałość pojazdu, jak i na sam komfort jazdy. Na wybojach spadały łańcuchy, poluzowywały się śruby, łamały się osie. Zaczęto więc stosować łączenie nadwozia z osiami za pomocą pasów skórzanych, co miało na celu minimalizację drgań. Następnie producenci samochodów zaczęli stosować sprężyny śrubowe i gumowe, resory półeliptyczne, a w miejsce obręczy obciążonych łańcuchami zaczęto stosować wynalazek Johna Boyda Dunlopa – opony pneumatyczne.

Wraz ze wzrostem prędkości jazdy osiąganym przez samochody, konstrukcje zawieszonych ulegały ciągłemu udoskonaleniu. Pierwszym samochodem z niezależnym zawieszeniem była produkowana w latach 1922–1928 Lancia Lambda. Miała ona przednie zawieszenie niezależne zbudowane w oparciu o sprężyny śrubowe i amortyzatory. Tylna oś była sztywna.

Pierwsze załączki zawieszenia aktywnego miały miejsce już w 1954 roku. Wtedy to firma Citroen w modelu Tracian Avant zastosowała na tylnej osi zawieszenie hydropneumatyczne, które na większą skalę zastosowano w modelu DS.

Pierwsze zawieszenia aktywne z prawdziwego zdarzenia, z regulowanym poziomem i regulowaną siłą tłumienia zastosowała firma Mercedes Benz w modelu 450 SEL w roku 1972.

Oba pojazdy biorące udział w badaniach – Mercedes S500 i Citroen Xsara, są wyprodukowane przez firmy, które mają ogromny udział w rozwoju konstrukcji zawieszonych samochodowych.

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników nasuwa się kilka interesujących wniosków.

Można zaobserwować bardzo dużą różnicę między zachowaniem się samochodu Mercedes przy różnych nastawach aktywnego zawieszenia. Przy ustawieniu na jazdę komfortową drgania przenoszone na nadwozie mają przy każdej z prędkości jazdy bardzo zbliżoną wartość i na równej nawierzchni osiągają chwilową wartość przyspieszeń od 15 do około 60 [mm/s²], a na płytach betonowych i na bruku nie przekraczają 90 [mm/s²]. Świadczy to o doskonałości konstrukcji nowoczesnych zawieszonych, które zapewniają odpowiedni komfort jazdy praktycznie niezależnie od warunków na drodze. W uzyskaniu takich wyników pomocny z pewnością był też system ABC (Aktive Body Control), który zapobiega wychyleniom i kołysaniu nadwozia.

Kolejną ciekawą rzeczą, którą można było zaobserwować jest znaczna zmiana w zachowaniu się samochodu po zmianie ustawienia zawieszenia na tryb sportowej pracy. Jadąc samochodem odczuwa się dużą różnicę w sztywności zawieszenia. Przekłada się to również na zarejestrowane wartości drgań. Na równej nawierzchni nie odbiegają one znacząco od wyników uzyskanych przy ustawieniu komfortowym, jednak po przejeździe przez większe nierówności drgania są nieporównywalnie większe i osiągają wartość chwilową przyspieszeń ok. 700 [mm/s²], co przy 90 [mm/s²] uzyskanych przy trybie komfort jest znaczącą różnicą. Jednak również tu można zaobserwować podobny poziom drgań niezależnie od prędkości jazdy.

Nieco inaczej sprawa przedstawia się w samochodzie o zawieszeniu klasycznym – Citroen. Tutaj co prawda poziom drgań jest mniej więcej na poziomie komfortowych nastaw Mercedes, jednak wraz ze wzrostem prędkości widać wyraźnie wzrost przenoszonych drgań.

BIBLIOGRAFIA

1. Arczyński S., Mechanika ruchu samochodu. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1993.
2. Cempel C., Wibroakustyka stosowana. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1989.
3. Chłopek Z., Ochrona środowiska naturalnego. Warszawa 2002.
4. Czajka J., Pomiary drgań i hałasu na stanowiskach pracy w transporcie. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002.
5. Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Warszawa 2001.
6. Engel Z., Kowal J., Sterowanie procesami wibroakustycznymi. Wydawnictwo AGH. Kraków 1995.
7. Giergiel J., Drgania układów mechanicznych. Kraków 1980.
8. Giergiel J., Tłumienie drgań mechanicznych. Warszawa 1990.
9. Grajner J., Izolacja drgań w maszynach i pojazdach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1997.
10. Grega R., Homišin J., Kašay P., Krajňák J., The analyse of vibrations after changing shaft coupling in drive belt conveyer. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2011. Vol. 72.
11. Grzegorzczak L., Walaszek M., Drgania i ich oddziaływanie na organizm ludzki. Warszawa 1996.
12. Gutowski R., Swietlicki W., Dynamika i drgania układów mechanicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1986.
13. Harachová D., Medvecká-Beňová S., Applying the modularity principle in design of drive systems in mechanotherapeutic devices. Grant Journal. 2013. Vol. 2, no. 2.
14. Harazin B., Narażenia na wibracje i zasady postępowania profilaktycznego. Instytut Medycyny i Zdrowia Środowiskowego Sosnowiec 1997.
15. Harazin B., Hałas i wibracje występujące jednocześnie w środowisku pracy. Instytut Medycyny i Zdrowia Środowiskowego. Sosnowiec 1997.
16. Homišin J., Dostrajanie układów mechanicznych drgających skrętnie przy pomocy sprzęgieł pneumatycznych: kompendium wyników pracy naukowo-badawczych. Wydawnictwo ATH. Bielsko-Biała 2008.
17. Jacenko M., Drgania, wytrzymałość i przyspieszone badania samochodów ciężarowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1975.
18. Kamiński E., Dynamika zawieszonych i układów napędowych pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Komunikacji Łączności. Warszawa 1983.
19. Koton J., Drgania mechaniczne. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa 1998.
20. Koton J., Harazin B., Skutki zdrowotne zawodowego narażenia na drgania miejscowe. Warszawa 2000.
21. Kucharski T., System pomiaru drgań mechanicznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2002.
22. Lanzendoerfer J., Teoria ruchu samochodu. Wydawnictwo Komunikacji Łączności. Warszawa 1980.
23. Łączkowski R., Wibroakustyka maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1983.
24. Medvecká-Beňová S., Vojtková J., Analysis of asymmetric tooth stiffness in eccentric elliptical gearing. Technológ. 2013. Roč. 5, č. 4.
25. Mitschke M., Dynamika samochodu. Wydawnictwo Komunikacji Łączności. Warszawa 1989.
26. Niziński S., Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych. Wydawnictwo Bellona. Warszawa 1999.
27. Osiński Z., Tłumienie drgań. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1997.

28. Puškár M., Bigoš P., Puškárová P., Accurate measurements of output characteristics and detonations of motorbike high-speed racing engine and their optimization at actual atmospheric conditions and combusted mixture composition. *Measurement*. 2012. Vol. 45.
29. Reimpell J., Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji. Wydawnictwo Komunikacji Łączności. Warszawa 1997.
30. Reński A., Budowa samochodów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1997.
31. Urbanský M., Homišin J., Krajňák J., Analysis of the causes of gaseous medium pressure changes in compression space of pneumatic coupling. *Transactions of the Universities of Košice*. 2011. Vol. 2.
32. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance And Reliability*. 2014. No 16(1).
33. Żukowski P., Hałas i wibracje w aspekcie zdrowia człowieka. Wydawnictwo Oświatowe FOSZE. Rzeszów 1996.
34. www.ciop.pl
35. PN/N-01352. Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.
36. PN/N-01354. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o oddziaływaniu ogólnym i metody oceny narażenia.

CAR DRIVING COMFORT WITH CLASSIC AND ACTIVE SUSPENSION

Abstract

Used in cars suspension design solutions must meet a number of requirements, which include providing adequate comfort or safe behavior of the car when driving in different conditions. Unfortunately, part of the requirements is mutually exclusive, which is why the world continues ongoing work to develop systems that could reconcile conflicting demands. The work study was to compare the levels of vibration acting on the driver and passengers in the car during the drive. The study tested noticeable difference in driving comfort of a car with a classic and active suspension. In addition, were checked the effects of the selected operating mode of active suspension – comfort and sport. The study was conducted for various speeds of a moving vehicle on different road surfaces – asphalt, paving stones, concrete slabs.

Autorzy:

mgr inż. **Jacek Graliński** – Politechnika Śląska
 prof. dr hab. inż. **Bogusław Łazarz** – Politechnika Śląska
 dr hab. inż. **Piotr Czech** prof. nadzw. PŚ – Politechnika Śląska
 dr inż. **Adam Mańka** – Politechnika Śląska
 dr inż. **Mirosław Witaszek** – Politechnika Śląska