

Jarosław WOLAK, Bogusław ŁAZARZ, Piotr CZECH, Adam MAŃKA, Kazimierz WITASZEK

## DRGANIA ODCZUWALNE PODCZAS JAZDY NAJSTARSZYMI SAMOCHODAMI OSOBOWYMI PORUSZAJĄCYMI SIĘ PO POLSKICH DROGACH

### Streszczenie

Pojazd samochodowy składa się z szeregu różnych elementów, wzajemnie ze sobą połączonych w celu stworzenia funkcjonalnej całości. Każdy z nich stanowi potencjalny układ drgający o pewnej sztywności i tłumieniu, pobudzony do drgań między innymi nierównościami drogi. Integralną częścią drgającego pojazdu jest znajdujący się w nim człowiek. W artykule przedstawiono wyniki badań mających na celu określenie poziomu drgań oddziaływujących na kierowcę i pasażerów w samochodach osobowych. Jako grupę badawczą wybrano najstarsze modele poruszające się po polskich drogach.

### WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, obserwuje się bardzo dynamiczny rozwój techniki motoryzacyjnej. Produkowane obecnie pojazdy, charakteryzują się wysokimi mocami i prędkościami, jednocześnie producenci samochodów dążą do optymalizacji masowej i wagowej pojazdów. Te dwa fakty mogą stać się przyczyną zwiększenia poziomu drgań generowanych przez samochód, co spowodowane jest tym, że część energii przetwarzanej przez pojazd jest zawsze emitowana do otoczenia w postaci drgań. Drgania z kolei w znaczący sposób wpływają m.in. na:

- komfort jazdy,
- zdrowie człowieka,
- kierowność pojazdu,
- stateczność ruchu,
- obciążenia dynamiczne zespołów pojazdu.

Szczególnie istotny jest aspekt wpływu drgań na organizm ludzki, ponieważ samochód stał się powszechnym środkiem komunikacji. Ogromna część społeczeństwa codziennie korzysta z tego środka transportu, co stwarza poważne zagrożenia w zakresie zmian chorobowych wywołanych wibracjami. Po-miary drgań nadwozi stają się ważnym zagadnieniem decydującym o standardzie pojazdu, a w efekcie o zdrowiu człowieka.

Obecnie wiele ośrodków przemysłowych i badawczych prowadzi badania nad genezą i rozprzestrzenianiem się drgań w pojazdach oraz nad możliwością ich redukcji [1-25]. Badania te coraz głębiej sięgają w zagadnienia drgań strukturalnych, jak również układów drgających nieliniowych i zawierających elementy aktywne. Wysoko rozwinięte techniki obliczeniowe, pozwalają na obliczenia bardzo rozbudowanych modeli dynamicznych.

Do określenia wpływu drgań na organizm ludzki nie są konieczne skomplikowane techniki badawcze. Opracowane normy przewidują normowanie zagrożenia drganiowego poprzez pomiar przyspieszeń drgań. Ta w miarę prosta metoda pozwala z zadowalającą dokładnością określić zagrożenie, jakie stwarza dany pojazd dla zdrowia człowieka. Wykorzystując tą metodę można uzyskać rzeczywisty obraz zagrożeń płynących z użytkowania danego typu pojazdu. Ma to istotne znaczenie w przypadku, gdy samochód staje się narzędziem, w którym spędza się kilkanaście godzin dziennie.

W niniejszym artykule postanowiono przedstawić wyniki badań dotyczących zjawisk drganiowych odczuwalnych przez kierowcę i pasażerów w samochodach osobowych. Jako obiekty badań wybrano naj-starsze modele samochodów, które można jeszcze spo-

tkać na polskich drogach. Wybór ten miał na celu sprawdzić, czy rok produkcji i przebieg mają znaczące i niekorzystny wpływ na zjawiska drganiowe generowane w trakcie jazdy takimi pojazdami.

### 1. OPIS BADAŃ

Grupę badawczą stanowi dziesięć pojazdów klasy od A do D, różnych marek i roczników, w tym:

- klasa A – niższa: Daewoo Tico, Fiat 126p,
- klasa B – niższa średnia: Opel Astra, Fiat Punto, Opel Ascona, Daewoo Lanos,
- klasa C – średnia: Renault Scenic, Ford Sierra,
- klasa D – wyższa: Mercedes 124D, Audi 100.

Dane techniczne wykorzystywanych w badaniach samochodów zestawiono w tabeli 1.

Przeprowadzone badania polegały na pomiarze drgań nadwozia danego pojazdu. Rejestrowano w sposób ciągły zmiany wartości przyspieszenia fotela kierowcy w czasie jazdy. Pomiarów dokonano w trzech kierunkach: X – wzdłuż kierunku jazdy, Y – poprzecznie, prostopadle do kierunku jazdy i Z – w kierunku pionowym. Ze względu na to, że przetwornik wykorzystany do pomiarów przetwarzał jednocześnie drgania tylko w dwóch kierunkach, konieczne było jego odwracanie o kąt 90° i przeprowadzenie dwóch serii badań. Przetwornik piezoelektryczny, mocowany był do metalowego elementu konstrukcyjnego fotela, bezpośrednio połączonego z podłogą pojazdu. W zależności od konstrukcji fotela, wykorzystano różne połączenia przetwornika pomiarowego z fotelem, najczęściej były to własnej konstrukcji elementy zaciskowe na bazie połączenia śrubowego. Zapewniały one stałe i niezmiennie w czasie przeprowadzania próby umiejscowienie przetwornika względem badanego obiektu, ponadto były zgodne z zaleceniami PN/N-01354. Wykorzystana w badaniach metoda pomiarów jest zgodna z normą PN-91/N-01352, która jest zalecana do oceny oddziaływania drgań o oddziaływaniu ogólnym.

Pomiary były dokonywane przy różnych prędkościach jazdy badanego pojazdu, w tym dla:

- 0 [km/h],
- 20 [km/h],
- 40 [km/h],
- 60 [km/h],
- 80 [km/h],
- 100 [km/h].

Badania zostały przeprowadzone na odpowiednio długim, płaskim odcinku drogi o nawierzchni asfaltowej w dobrym stanie.

## 2. ANALIZA WYNIKÓW

Dla człowieka najbardziej szkodliwe są drgania (przyspieszenia) odbywające się w kierunku Z (pionowym), dlatego analiza otrzymanych wyników przeprowadzona będzie tylko dla tego kierunku. Pozostałe kierunki, czyli X i Y, odgrywają w analizie szkodliwości oddziaływania drgań na organizm człowieka drugorzędą rolę.

Z otrzymanych analiz wynika, że wartości zarejestrowane drgania różnią się zarówno dla poszczególnych samochodów, jak i różnych prędkości. Dla uproszczenia analizy dużej liczby danych, otrzymanych w wyniku przeprowadzonych badań, analizę przeprowadzono dla poszczególnych prędkości jazdy, porównując kolejno ze sobą różne typy samochodów.

Rysunek 1 prezentuje, jak zmieniają się wartości skuteczne dla poszczególnych pojazdów i różnych prędkości. Ze wzrostem prędkości jazdy pojazdu, rosną wartości przyspieszeń drgań. Jest to cecha charakterystyczna dla wszystkich badanych pojazdów. Różnice występują tylko w zarejestrowanych wielkościach. Tutaj jednak również widoczny jest wzrost różnic pomiędzy poszczególnymi samochodami, który postępuje wraz ze wzrostem prędkości.

Podczas postoju pojazdów z uruchomionym silnikiem, różnice pomiędzy poszczególnymi samochodami były niewielkie, za wyjątkiem Daewoo Tico i Opla Ascony, dla których to zanotowano największe wartości drgań. Podczas tego pomiaru, o wielkości rejestrowanych przyspieszeń drgań decydował tylko sposób mocowania silnika w pojeździe. Był on jedynym elementem generującym drgania mechaniczne. Analiza wyników wykazała, że najlepsze własności posiada samochód Audi 100. Wyposażony on jest w pięciocylin-

drowy silnik benzynowy, z wielopunktowym wtryskiem paliwa. Silnik ten, zawieszony jest w samochodzie za pomocą elementów gumowo-hydraulicznych. To rozwiązanie, w postaci podpory z regulowanym ciśnieniem oleju, pozwala na zmianę charakterystyki tłumienia w czasie pracy. Audi 100 jest samochodem klasy wyższej, i zastosowane w nim rozwiązania konstrukcyjne mimo upływu lat spełniają swoje zadania.

Dość wysoka wartość, jaką zanotowano dla Mercedesa spowodowana była prawdopodobnie tym, że jest to samochód wyposażony w silnik o zapłonie samoczynnym, a pozostałe pojazdy wyposażone były w jednostki benzynowe. Silnik w tym samochodzie zawieszony jest na poduszkach gumowych.

Wartości drgań dla większości pojazdów oscylują wokół  $0,1 [m/s^2]$ , co jest wartością bardzo niską w porównaniu z wielkościami rejestrowanymi dla dużych prędkości jazdy, rzędu 80-100 [km/h].

Inaczej sytuacja przedstawia się przy dalszym wzroście prędkości jazdy pojazdów. Przy prędkości 40 [km/h] i 60 [km/h] różnice w wartościach drgań pomiędzy poszczególnymi pojazdami stają się coraz większe, aby dla prędkości 80 [km/h] i 100 [km/h] osiągnąć wartości maksymalne.

Przy prędkościach eksploatacyjnych charakterystycznych dla ruchu miejskiego, tzn. 40 i 60 [km/h], najlepszymi własnościami odznaczają się samochody marki Mercedes, Fiat Punto, Audi 100 i Ford Sierra. Należy spodziewać się, że w tych pojazdach człowiek ma największy komfort podróży w uciążliwym ruchu miejskim. Najgorzej wypadły pojazdy marki Daewoo Tico, Fiat 126p i Opel Ascona. Za wyjątkiem Opla Ascony są to samochody z najniższego segmentu rynkowego.

Tab. 1. Dane techniczne samochodów

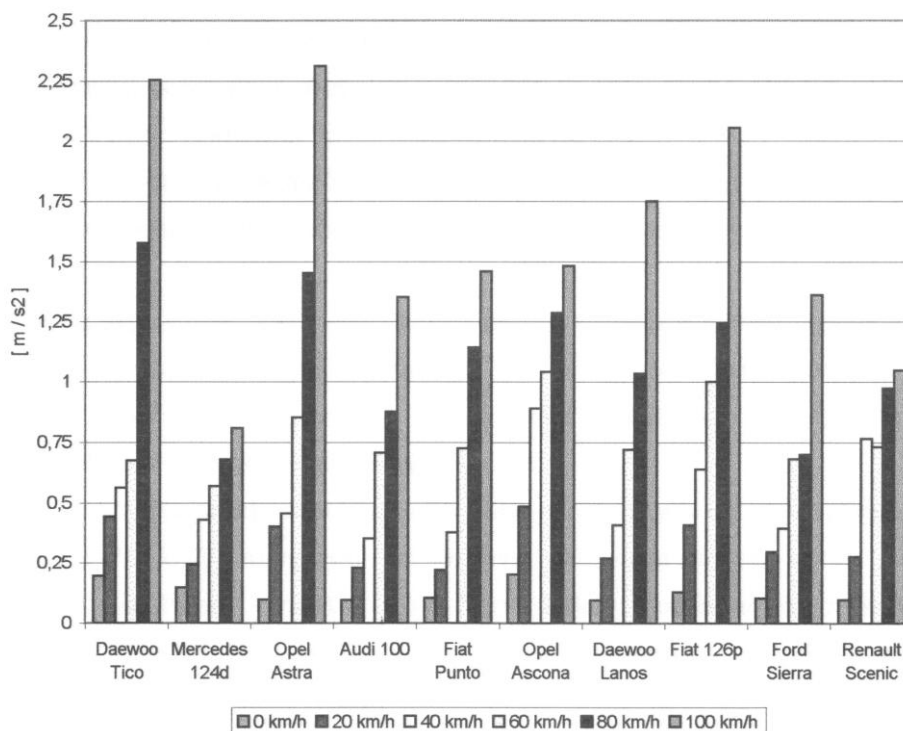
Marka	Klasa	Rok produkcji	Przebieg [km]	Silnik	Ogumienie		Zawieszenie	
					Przód	Tył	Przód	Tył
Renault Scenic 1,6e	C	1998	121992	benzynowy, 1600 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry, wtrysk wielopunktowy	175/70 R14	175/70 R14	McPherson	wahacze wzdluzne, drażki skrętnie, amortyzator
Daewoo Tico	A	1996	54378	benzynowy, 800 [cm <sup>3</sup> ], 3 cylindry, wtrysk jednopunktowy	135/70 R13	135/70 R13	McPherson	oś wleczone, sprężyny śrubowe, amortyzator
Opel Astra 1,4	B	1993	179016	benzynowy, 1400 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry, wtrysk jednopunktowy	175/70 R13	175/70 R13	McPherson	wahacze wzdluzne, sprężyny śrubowe, amortyzator
Audi 100	D	1987	210779	benzynowy, 2500 [cm <sup>3</sup> ], 5 cylindrow, wtrysk wielopunktowy	185/70 R14	185/70 R14	McPherson	oś wleczone, kolumny McPherson
Fiat Punto	B	1997	58110	benzynowy, 1000 [cm <sup>3</sup> ], 3 cylindry, wtrysk wielopunktowy	165/65 R13	165/65 R13	McPherson	wahacze wzdluzne, sprężyny śrubowe, amortyzatory
Opel Ascona	B	1984		benzynowy, 1300 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry, gaźnik	165 R13	165 R13	McPherson	wahacze wzdluzne, sprężyny śrubowe, amortyzatory
Daewoo Lanos SE	B	1998	16198	benzynowy, 1500 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry, wtrysk wielopunktowy	175/70 R13	175/70 R13	McPherson	wahacze wzdluzne, sprężyny śrubowe, amortyzatory
Ford Sierra 2,0L	C	1987	170280	benzynowy, 2000 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry, gaźnik	185/70 R13	185/70 R13	McPherson	wahacze wzdluzne, sprężyny śrubowe, amortyzatory
Mercedes Benz 124D	D	1987	311580	diesel, 2000 [cm <sup>3</sup> ], 4 cylindry	195/65 R15	205/60 R15	kolumny prowadzące, sprężyny śrubowe	przestrzenny układ wielowahaczowy, sprężyny śrubowe, amortyzatory
Fiat 126p	A	1992	85650	benzynowy, 650 [cm <sup>3</sup> ], 2 cylindry, gaźnik	135/80 R12	135/80 R12	resor piórowy, amortyzator	wahacze skośne, sprężyny śrubowe, amortyzator

Podczas ruchu pozamiejskiego z dużymi prędkościami, występuje narażenie człowieka na dość duże przyspieszenia pionowe, szczególnie podczas najechania na przeszkody związane z nierównościami drogi. Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepiej przystosowanymi pojazdami do tego typu zadań są Mercedes, Audi i Renault. Mercedes i Audi są pojazdami uznawanymi za luksusowe, ich układy zawiesznień zarówno samego nadwozia, jak i elementów układu napędowego spełniają swoje zadania w sposób zadowalający. Dla prędkości 100 [km/h] różnica pomiędzy najlepszym samochodem – Mercedes, a najgorszym – Daewoo Tico, wynosi ponad 250%. Oczywiście jest, że komfort jazdy wynikały z odczuwania drgań przez człowieka poruszającego się w tych pojazdach będzie zupeł-

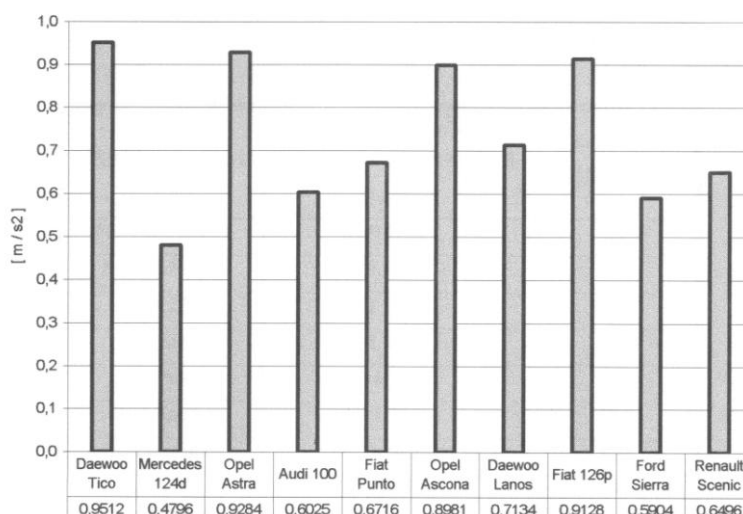
nie inny. Są to jednak samochody odmiennych klas i nie sposób porównywać ich bezpośrednio.

Podsumowując analizę wartości skutecznych przyspieszeń drgań nadwozi, biorąc pod uwagę wartość średnią ze wszystkich badanych prędkości oraz maksymalne wartości skuteczne, można stwierdzić, że najlepszymi własnościami w zakresie tłumienia drgań odznacza się samochód Mercedes 124D.

Na rysunku 2 pokazano uśrednione wartości otrzymane z przyspieszeń drgań w kierunku pionowym, zarejestrowanych dla kolejnych prędkości jazdy samochodów.



Rys. 1. Wartości skuteczne przyspieszeń drgań nadwozi samochodów w kierunku osi Z



Rys. 2. Średnie wartości przyspieszeń drgań ze wszystkich prędkości jazdy

Najwyższe wartości uzyskano dla samochodów Daewoo Tico, Opel Ascona i Fiat 126p. Dość wysokie wartości uzyskane dla samochodu Opel Astra, spowodowane były zużyciem przednich amortyzatorów. Uwidacznia to znaczenie sprawnych amortyzatorów dla poprawnego funkcjonowania samochodu. Wartości drgań w zakresie niskich prędkości dla samochodu Opel Astra nie odbiegały znacząco od pozostałych, natomiast różnice zaczęły się pojawiać ze wraz ze wzrostem prędkości jazdy. Opel Ascona natomiast jest samochodem wyprodukowanym w roku 1984 i ma trudny do ustalenia przebieg. Samochód ten jest przykładem, jaki dokonał się postęp w konstrukcji zawiesznień na przestrzeni lat, w konfrontacji z pojazdami wyprodukowanymi w latach 90-tych, tj. Daewoo Lanos, Renault Scenic, Fiat Punto.

Organizm człowieka najbardziej wrażliwy jest na drgania odbywające się w przedziale częstotliwości 4–8 [Hz]. Drgania odbywające się z tą częstotliwością wywołują najwięcej doznań subiektywnych i mają najbardziej destrukcyjne działanie na organizm człowieka. Charakterystyczne objawy występujące pod-czas ekspozycji człowieka na drgania o tych częstotliwościach to ogólne złe samopoczucie i uczucie mdłości. Poszczególne samochody były badane pod kątem komfortu jazdy, jaki dają swoim pasażerom.

Zarejestrowane przebiegi zmian przyspieszeń drgań poddane zostały operacji filtrowania filtrem pasmowo-przepustowym o szerokości pasma 4 [Hz]. Dolną i górną graniczną częstotliwość filtru stanowiły częstotliwości 4 i 8 [Hz].

Ze względu na dużą liczbę charakterystyk widmowych, ich analiza przeprowadzona zostanie dla każdego pojazdu oddzielnie. Wielkością porównawczą jest gęstość widmowa mocy przyspieszeń drgań nadwozi.

#### Audi 100.

Podczas postoju pojazdu, najwyższe drgania odbywają się przy częstotliwości 7 [Hz], gęstość widmowa mocy w tym punkcie wynosi 0,009 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]. Przy prędkości jazdy 20 [km/h], częstotliwością dominującą jest również 7 [Hz], następuje jednak wzrost wartości gęstości widmowej mocy do poziomu 0,025 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]. Podróżując z prędkością 40 [km/h], narażeni jesteśmy na intensywne drgania odbywające się w zakresie częstotliwości 6–8 [Hz]. Dalszy wzrost prędkości jazdy powoduje zmiany w wartości gęstości widmowej mocy. Częstotliwością dominującą przy wszystkich prędkościach jest zakres 6–8 Hz, w tym zakresie odbywają się najbardziej intensywne drgania.

#### Daewoo Lanos.

W tym samochodzie częstotliwością dominującą jest przedział 4-5 [Hz]. Począwszy od prędkości równej zero, aż do 60 [km/h], zmienia się tylko wartość gęstości widmowej mocy w zakresie tych częstotliwości. Zmiany zaczynają się dopiero po przekroczeniu 60 [km/h], dla prędkości 80 i 100 [km/h] największe drgania odbywają się przy częstotliwości 8 [Hz]. Wartość gęstości widmowej mocy dla prędkości 100 [km/h] i częstotliwości 8 [Hz] wynosi 0,018 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz].

#### Daewoo Tico.

Samochód Daewoo Tico jest jednym z pojazdów, które stanowią najniższą klasę w wybranej grupie badawczej. Drgania tego pojazdu są znacznie większe w porównaniu z innymi samochodami. Przeprowadzone analizy widmowe nie wskazują wyraźnie na istnienie częstotliwości, która dominowałaby w całym zakresie prędkości. Wartości gęstości widmowej mocy zmieniają się od 0,0003 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] podczas postoju pojazdu, do wartości 0,07 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] przy prędkości 80 [km/h].

#### Fiat 126p.

Samochód ten zalicza się do tej samej klasy samochodów jak poprzedni – Daewoo Tico. Jest to pojazd o przestarzałej konstrukcji, charakteryzujący się niskimi właściwościami zarówno w zakresie komfortu, jak i bezpieczeństwa jazdy. Opinie tę potwierdzają przeprowadzone badania. Wysoki poziom drgań obserwuje się począwszy od prędkości 20 [km/h], aż do 80 [km/h]. W samochodzie tym nie da się wyróżnić zakresu częstotliwości dominujących, wysoki poziom drgań występuje w całym badanym zakresie. Najwyższą wartość gęstości widmowej mocy uzyskano przy prędkości jazdy wynoszącej 80 [km/h] i częstotliwości 4 [Hz]. Było to 0,08 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz].

#### Fiat Punto.

Fiat Punto w porównaniu z Daewoo Lanos, innym przedstawicielem wybranych pojazdów klasy B, charakteryzuje się niższymi wartościami gęstości widmowej mocy. Lepiej wypada tylko Opel Astra – inny przedstawiciel klasy B, różnice jednak nie są znaczące. Wartości gęstości widmowej mocy rosną po przekroczeniu prędkości 40 [km/h], aby osiągnąć wartości maksymalne 0,4 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] przy prędkości 100 [km/h] i częstotliwości 7,5 [Hz]. Z otrzymanych analiz wynika, że począwszy od prędkości 20 [km/h], brak jest częstotliwości dominujących, przy których powtarzałyby się w kolejnych pomiarach wartości maksymalne gęstości widmowej.

#### Ford Sierra.

Ford Sierra jest przedstawicielem samochodów klasy C. Przeprowadzone dla tego pojazdu analizy widmowe dowiodły, że samochód ten pomimo starej konstrukcji, zachowuje dobre właściwości w zakresie tłumienia drgań. Wyjątkowo niski poziom drgań zanotowano dla tego samochodu podczas jego postoju z uruchomionym silnikiem. Obserwuje się tylko „piki” w wąskim przedziale częstotliwości od około 7,8 do 8 [Hz]. Maksymalne wartości gęstości widmowej przypadają dla prędkości 100 [km/h] i wynoszą 0,03 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] dla częstotliwości 7 [Hz].

#### Mercedes 124D.

Mercedes stanowi pojazd o najwyższej klasie spośród wszystkich pojazdów biorących udział w badaniach. Pomimo wyposażenia w silnik o zapłonie samoczynnym, samochód ten reprezentuje wysoki poziom w zakresie zabezpieczenia człowieka przed szkodliwym oddziaływaniem drgań. Począwszy od prędkości 20 [km/h], samochód utrzymuje niski poziom wartości gęstości widmowej mocy. Nieznaczny wzrost obserwuje się tylko przy prędkości 60 [km/h], maksymalna wartość wynosi 0,025 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] przy częstotliwości 5 [Hz]. Przy najwyższej prędkości 100 [km/h], maksymalna wartość wynosi 0,018 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] dla częstotliwości 7,5 [Hz].

#### Opel Ascona.

Opel Ascona to najstarszy pojazd w grupie badanych samochodów. Osiąga on dość wysokie wartości gęstości widmowej mocy, nie jest jednak samochodem najgorszym. Maksymalne wartości występują dla prędkości 80 [km/h] przy częstotliwości 6,5 [Hz]. Wartość gęstości widmowej mocy w tym punkcie wynosi 0,04 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]. Wartości gęstości widmowej rozłożone są równomiernie w całym zakresie badanych częstotliwości. Przy prędkości 100 [km/h] obserwuje się nieznaczny spadek wartości w porównaniu do prędkości jazdy wynoszących 60 i 80 [km/h].

#### Opel Astra.

Analizy widmowe przeprowadzone dla tego samochodu dowiodły, że drgania nadwozia utrzymują się na niskim poziomie. Naj-

większa wartość jaką uzyskano wynosi 0,012 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz] przy prędkości 80 [km/h] i częstotliwości 6 [Hz]. Drgania odbywają się w całym zakresie badanych częstotliwości z jednakową intensywnością, nie można mówić o dominującym zakresie częstotliwości. Przy prędkości 100 [km/h], wartości gęstości widmowej obniżają się do poziomu około 0,007 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz].

#### Renault Scenic.

Jest to jedyny przedstawiciel samochodów typu mini van wśród badanych pojazdów. Przeprowadzone analizy widmowe dowodzą, że pomimo zwiększonych wymiarów i masy pojazdu względem tradycyjnych nadwozi, nie ustępuje on im parametrami w zakresie tłumienia drgań. Samochód charakteryzuje się niskimi wartościami gęstości widmowej mocy w całym zakresie badanych prędkości jazdy. Nieznaczny wzrost wartości obserwuje się tylko dla prędkości 40 [km/h] i częstotliwości 4 [Hz]. Nie przekracza on jednak wartości uzyskanych przez inne pojazdy. Podobnie jak w innych samochodach, nie można tu wyróżnić dominujących częstotliwości – drgania odbywają się równomiernie w całym zakresie częstotliwości.

Do podsumowania wszystkich przeprowadzonych analiz widmowych posłuży tabela 2. Zestawiono w niej wszystkie maksymalne wartości gęstości widmowej mocy przyspieszeń drgań nadwozi, jakie dany pojazd uzyskał w całym cyklu badań. Zawarte w tabeli wartości dają ogólne wyobrażenie, co do poziomu, jaki reprezentują poszczególne samochody w zakresie tłumienia drgań. Nie mogą być jedynym wyznacznikiem klasyfikującym dany pojazd, ponieważ uzyskana maksymalna wartość jest tylko wycinkiem całego procesu badań. Samochód marki Mercedes, pomimo czwartej pozycji w tabeli jest jednym z najlepszych samochodów w grupie badawczej. Maksymalna wartość, jaką uzyskał stanowi pewien „pik”, natomiast pozostałe wartości znajdują się na niskim poziomie. Podobna sytuacja występuje w przypadku Audi 100.

**Tab. 2. Maksymalne wartości gęstości widmowej mocy przyspieszeń drgań nadwozi**

Marka pojazdu	Maksymalna wartość gęstości widmowej mocy [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	Częstotliwość [Hz]	Prędkość jazdy [km/h]
Opel Astra	0,012	6,0	80
Daewoo Lanos	0,020	8,0	100
Audi 100	0,025	6,0	100
Mercedes 200 D	0,025	5,0	60
Renault Scenic	0,025	4,0	40
Ford Sierra	0,030	7,0	100
Fiat Punto	0,040	7,5	100
Opel Ascona	0,040	6,5	80
Daewoo Tico	0,070	8,0	80
Fiat 126p	0,080	4,0	80

Reasumując można stwierdzić, że najlepszymi właściwościami w dziedzinie tłumienia drgań odznaczają się samochody marki Audi 100, Opel Astra, Mercedes 200D i Daewoo Lanos.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że najlepsze właściwości w zakresie eliminacji szkodliwych zakresów drgań, w wybranej grupie badawczej najstarszych samochodów osobowych poruszających się po polskich drogach, posiadają samochody Mercedes 124D i Audi 100. Obydwa pojazdy zakwalifikowane są do jednej klasy – wyższej średniej (D). W samochodzie Audi, zastosowano skomplikowany układ zawieszenia silnika i całego układu napędowego z wykorzystaniem elementów hydrauliczno-gumowych. Na tylnej osi zastosowano niezależne zawieszenie w oparciu o kolumny prowadzące. W Mercedesie mamy do czynienia

z tylnym zawieszeniem wielowahaczowym o skomplikowanej konstrukcji. Na przedniej osi wykorzystano kolumny prowadzące i sprężyny śrubowe w celu poprawienia własności sprężystych i tłumiących zawieszenia.

Badane zakresy częstotliwości odpowiadały częstotliwościom drgań, generowanym w wyniku ruchu pojazdu po nierównej nawierzchni. Cechą charakterystyczną wszystkich pojazdów biorących udział w badaniach, było podobne zawieszenie przedniej osi. We wszystkich pojazdach, oprócz Mercedes, zastosowano kolumny prowadzące typu McPherson. Różnice polegały tylko na sposobie zawieszenia osi tylnej. Nasuwa się wniosek, że zawieszenie tylnej osi ma duży wpływ na przebieg procesów wibracyjnych w pojeździe. Oczywiście nie wolno pominąć takich aspektów jak charakterystyka tłumienia danego zawieszenia, dobierana specjalnie dla konkretnego typu pojazdu, czy zużycie eksploatacyjne elementów zawieszenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- intensywność procesów wibracyjnych rośnie ze wzrostem prędkości pojazdu;
- decydujący wpływ na poziom drgań w pojeździe ma rodzaj zastosowanego zawieszenia zarówno osi przedniej jak i tylnej;
- poziom zabezpieczenia człowieka przed szkodliwym oddziaływaniem drgań zależy w głównej mierze od marki i klasy pojazdu;
- stosowanie elementów o zmiennej charakterystyce tłumienia, skutecznie zabezpiecza człowieka przed szkodliwym oddziaływaniem drgań;
- zastosowanie metody oceny zjawisk wibracyjnych poprzez pomiar przyspieszeń drgań, daje obiektywny obraz zagrożeń powstających w danym pojeździe.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cempel C., Wibroakustyka stosowana. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1989.
2. Chłopek Z., Ochrona środowiska naturalnego. Warszawa 2002.
3. Czajka J., Pomiar drgań i hałasu na stanowiskach pracy w transporcie. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002.
4. Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Warszawa 2001.
5. Engel Z., Kowal J., Sterowanie procesami wibroakustycznymi. Wydawnictwo AGH. Kraków 1995.
6. Giergiel J., Drgania układów mechanicznych. Kraków 1980.
7. Giergiel J., Tłumienie drgań mechanicznych. Warszawa 1990.
8. Grajner J., Izolacja drgań w maszynach i pojazdach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1997.
9. Grega R., Homišin J., Kaššay 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.
10. Grzegorzczak L., Walaszek M., Drgania i ich oddziaływanie na organizm ludzki. Warszawa 1996.
11. Gutowski R., Swietlicki W., Dynamika i drgania układów mechanicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1986.
12. Harachová D., Medvecká-Beňová S., Applying the modularity principle in design of drive systems in mechanotherapeutic devices. Grant Journal. 2013. Vol. 2, no. 2.
13. Harazin B., Narażenia na wibracje i zasady postępowania profilaktycznego. Instytut Medycyny i Zdrowia Środowiskowego Sosnowiec 1997.

14. Harazin B., Hałas i wibracje występujące jednocześnie w środowisku pracy. Instytut Medycyny i Zdrowia Środowiskowego. Sosnowiec 1997.
15. Homišin J., Dostrajanie układów mechanicznych drgających skrętnie przy pomocy sprzęgieł pneumatycznych: kompendium wyników pracy naukowo-badawczych. Wydawnictwo ATH. Bielsko-Biała 2008.
16. Koton J., Drgania mechaniczne. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa 1998.
17. Koton J., Harazin B., Skutki zdrowotne zawodowego narażenia na drgania miejscowe. Warszawa 2000.
18. Kucharski T., System pomiaru drgań mechanicznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2002.
19. Łączkowski R., Wibroakustyka maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1983.
20. Medvecká-Beňová S., Vojtková J., Analysis of asymmetric tooth stiffness in eccentric elliptical gearing.
21. Osiński Z., Tłumienie drgań. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1997.
22. 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.
23. 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.
24. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability. 2014. No 16(1).
25. Żukowski P., Hałas i wibracje w aspekcie zdrowia człowieka. Wydawnictwo Oświatowe FOSZE. Rzeszów 1996.

## THE VIBRATIONS FELT WHILE DRIVING THE OLDEST PASSENGER CARS ON POLISH ROADS

### *Abstract*

*Automotive vehicle consists of a series of different elements, interconnected to create a functional unit. Each of them is a potential vibrating system with specified stiffness and attenuation induced to vibration, among others, by uneven road. An integral part of the vibrating vehicle is a human inside the car. The article presents the results of research aimed at determine the level of vibration acting on the driver and passengers in cars. As the research group were selected the oldest models of cars moving on Polish roads.*

Autorzy:

inż. **Jarosław Wolak** – 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. **Kazimierz Witaszek** – Politechnika Śląska