

Ryszard Mańczak*
Politechnika Poznańska

Analiza drgań nadwozia pojazdu samochodowego na potrzeby stanowiskowych badań degradacji połączenia adhezyjnego powłoki szpachlówkowej z podłożem stalowym

Analysis of vibrations of a car body for the purpose of bench tests of degradation of the adhesive joint between the putty coating and the steel substrate

STRESZCZENIE

Połączenia adhezyjne np. połączenia powłoki szpachlówkowej z podłożem stalowym mają szerokie zastosowania w procesach naprawy nadwozi pojazdów. Badania degradacji połączeń adhezyjnych pozwalają na poznanie przebiegu zmian zachodzących w połączeniach, co w dalszej kolejności stanowi podstawę do prognozowania zmian stanu w tych połączeniach. Realizacja stanowiskowych przyspieszonych badań degradacji wymaga oszacowania stopnia zintensyfikowania stosowanych obciążeń w porównaniu do obciążeń występujących w normalnych warunkach eksploatacji, co wymaga poznania poziomu drgań występujących na nadwoziu pojazdu. W niniejszym artykule przedstawiono rezultaty takich pomiarów. Badania poziomu drgań wykonano na nadwoziu samochodu osobowego, w wybranych 25 punktach na nadwoziu, przy prędkościach ruchu pojazdu wynoszących od 20 do 140 km/h. Uzyskane rezultaty pozwoliły oszacować średnią wartość amplitudę przyspieszenia drgań na poziomie 0,03-0,04 m/s², średnią wartość amplitudy odkształcenia na poziomie 0,1884·10⁻² mm oraz średnią wartość częstotliwości rezonansowej drgań na poziomie 40-60 Hz. Wartości te przyjęto jako punkt odniesienia, dla określenia stopnia zintensyfikowania stanowiskowych laboratoryjnych badań degradacji połączenia adhezyjnego powłoki szpachlówkowej z podłożem stalowym, które przedstawiono w ostatnim artykule z cyklu trzech kolejnych artykułów..

Słowa kluczowe: drgania nadwozia, badania przyspieszone

ABSTRACT

Adhesive joints, such as those between filler and steel substrates, have a wide range of applications in vehicle body repair. Degradation studies of adhesive joints allow for understanding the course of changes occurring within the joints, which then provides a basis for predicting changes in their condition. Conducting accelerated degradation tests requires estimating the degree of load intensification compared to the loads occurring under normal operating conditions, which requires understanding the vibration levels occurring within the vehicle body. This article presents the results of such measurements. Vibration level tests were performed on a passenger car body at 25 selected points on the body, at vehicle speeds ranging from 20 to 140 km/h. The obtained results allowed us to estimate the average vibration acceleration amplitude at 0.03-0.04 m/s², the average strain amplitude at 0.1884·10⁻² mm, and the average vibration resonance frequency at 40-60 Hz. These values were adopted as a reference point for determining the degree of intensification of laboratory degradation tests of the adhesive bond between the filler coating and the steel substrate, which are presented in the last article in this series of three articles.

Keywords: body vibrations, accelerated tests

1. Wstęp

Połączenia powłok szpachlówkowych z podłożem stalowym znajdują obecnie najszerze zastosowania w procesach naprawy nadwozi pojazdów samochodowych. Poznanie przebiegu degradacji tych połączeń może pozwolić na monitorowanie zmian ich stanu. W tym celu w niezbędne jest wykonanie przyspieszonych badań degradacji, przy znanym stopniu zintensyfikowania stosowanych obciążeń w porównaniu z obciążeniami występującym w podczas normalnej eksploatacji. Połączenia takie poddawane są,

*Autor korespondencyjny.

E-mail: ryszard.manczak@put.poznan.pl

w warunkach ruchu pojazdu samochodowego, oddziaływaniu zarówno obciążeń mechanicznych (drgań), jak i czynników środowiskowych. W ramach zaplanowanych badań własnych przyjęto, iż drgania mechaniczne oddziałujące na badane połączenie będą stanowić dominujący sposób niszczenia połączenia.

Wiarygodności wyników przyspieszonych badań o charakterze trwałościowym w warunkach laboratoryjnych, jak i wpływu zintensyfikowania (przyspieszenia) badań na procesy niszczenia zachodzące w połączeniach ma charakter dyskusyjny. Określenie dokładnego wpływu w badaniach przyspieszonych jest zadaniem bardzo trudnym, często wręcz

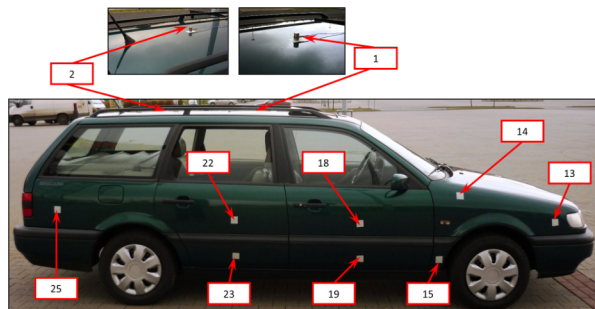
niemożliwym do wykonania, a za częściowe rozwiązanie tego problemu można uznać posiadanie przynajmniej informacji, umożliwiających określenie zintensyfikowania oddziaływania czynników degradacyjnych (drgań mechanicznych) w porównaniu z ich wpływem na połączenie w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

W literaturze naukowej dostępne są informacje dotyczące pomiaru drgań elementów w środkach transportu zwłaszcza w pojazdach samochodowych, pociągach i ciężkich maszynach roboczych. Opublikowane prace zawierają informacje o poziomie drgań w obrębie siedzenia operatora, wpływie drgań na sprawność psychofizyczną człowieka czy wpływie stanu nawierzchni na ruch pojazdu wokół osi x, y, z [1, 2]. Szeroko opisywane są zagadnienia dotyczące izolacji przed drganiami pochodzącymi od silnika oraz drganiami przenoszonymi przez zawieszenie w powiązaniu ze statecznością pojazdu. Prowadzi się prace poświęcone tworzeniu numerycznych modeli, umożliwiających analizę propagacji drgań w konstrukcjach nośnych i wpływu zastosowania różnych materiałów konstrukcyjnych na przenoszenie drgań [3, 4]. W przeanalizowanej literaturze naukowej nie napotkano prac, które dotyczyłyby pomiaru drgań nadwozia pojazdu, zwłaszcza w obszarze karoserii w trakcie procesu eksploatacji w warunkach rzeczywistych. Prace takie są prowadzone przez niektóre wyspecjalizowane firmy, jednakże wyniki tych badań nie są publikowane.

Z powodu braku informacji o poziomie drgań na karoserii samochodu, przeprowadzono badania, których celem było wyznaczenie poziomu jednoosiowych drgań poszycia pojazdu w wybranych punktach nadwozia samochodu osobowego w określonych warunkach eksploatacji, bez wnikania w naturę źródeł generujących drgania. Uzyskane wyniki stanowiły dane wejściowe do określenia zintensyfikowania badań degradacji połączeń w warunkach laboratoryjnych i pozwoliły na określenie parametrów drgań wymuszonych podczas laboratoryjnych badań degradacji połączenia powłoki z podłożem.

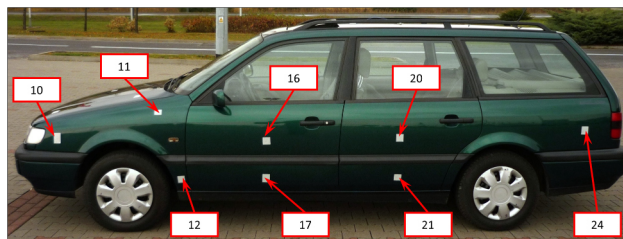
2. Obiekt badań i układ pomiarowy

Badania poziomu drgań nadwozia przeprowadzono na arbitralnie wybranym pojeździe (VW Passat) w punktach zaznaczonych na Rys. 1–4.



Rys. 1. Rozmieszczenie i oznakowanie punktów pomiaru drgań na prawym boku i dachu pojazdu

Fig. 1. Location and marking of vibration measurement points on the right side and roof of the vehicle



Rys. 2. Rozmieszczenie i oznakowanie punktów pomiaru drgań na lewym boku pojazdu

Fig. 2. Location and marking of vibration measurement points on the left side of the vehicle



Rys. 3. Rozmieszczenie i oznakowanie punktów pomiaru drgań na masce pojazdu

Fig. 3. Location and marking of vibration measurement points on the vehicle hood



Rys. 4. Rozmieszczenie i oznakowanie punktów pomiaru drgań na tylnych drzwiach pojazdu

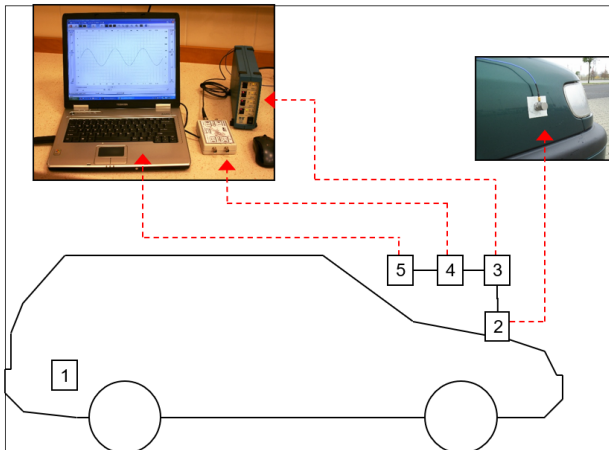
Fig. 4. Location and marking of vibration measurement points on the rear doors of the vehicle

Do wyznaczenia poziomu drgań w wybranych punktach nadwozia wykorzystano układ pomiarowy składający się z:

- czujnika przyspieszeń PCB Piezotronic nr M353 B43 zamocowanego na nadwoziu pojazdu za pomocą magnesu,

- układu kondycjonowania sygnału PCB Piezotronic nr 482 A16,
- cyfrowego oscyloskopu HD – Scope USB 9.0,
- komputera PC wraz z oprogramowaniem HD Scope Enterprise 9 oraz MATLAB 6.5.

Schemat wyżej wymienionego układu pomiarowego przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5. Układ do pomiaru drgań na nadwoziu pojazdu samochodowego: 1 – pojazd, 2 – czujnik przyspieszenia drgań, 3 – układ kondycjonowania sygnału, 4 – oscyloskop cyfrowy, 5 – komputer PC

Fig. 5. Vibration measurement system for a motor vehicle body: 1 – vehicle, 2 – vibration acceleration sensor, 3 – signal conditioning system, 4 – digital oscilloscope, 5 – PC computer

Sygnały z czujnika przyspieszeń poprzez układ kondycjonowania przesyłano do oscyloskopu, a ich zobrazowanie uzyskiwano na ekranie komputera. Spróbkowane sygnały z częstotliwością 60 kHz o czasie trwania 650 ms poddawano obróbce matematycznej w programie MATLAB.

3. Metodyka i program badań

Na karoserii pojazdu samochodowego wyznaczono punkty, w których dokonywano pomiarów. Wyboru punktów dokonano w oparciu – przede wszystkim – o dwie wytyczne. Wytypowano mianowicie miejsca, w których:

- występuje przypuszczalnie największa amplituda drgań poszycia pojazdu uwarunkowana jego konstrukcją
- najczęściej nakłada się szpachlówkę samochodową w procesach napraw nadwozi.

Uwzględniając powyższe wytyczne oraz przewidywany czas realizacji pomiarów wskazano ostatecznie 25 punktów, których rozmieszczenie wraz z przyjętym oznaczeniem przedstawiono na Rys. 1–4. We wskazanych punktach dokonano pomiarów maksymalnych wartości przyspieszeń drgań w kierunku prostopadłym do powierzchni nadwozia oraz wyznaczono wartości dominujących (rezonansowych) częstotliwości w widmach amplitudowo-częstotliwościowych zarejestrowanych sygnałów, stosując Szybką Transformatę Fouriera. Po podwójnym skalkowaniu zarejestrowanych

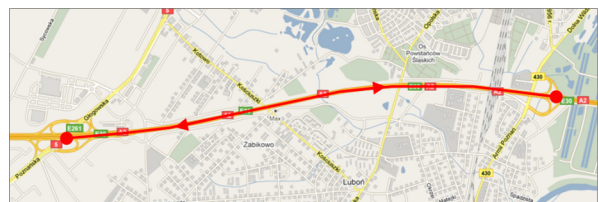
sygnałów, wyznaczone także maksymalne wartości przemieszczeń (odkształceń) w punktach pomiarowych.

Pomiary poziomu drgań przeprowadzono przy siedmiu różnych prędkościach ruchu pojazdu: 20, 40, 60, 80, 100, 120 i 140 km/h. W trakcie badań należało uwzględnić ograniczenia, wynikające z konieczności zachowania niezbędnych zasad bezpieczeństwa wykonywania pomiarów podczas ruchu pojazdu. Ograniczenia te sprawiły, że pomiary przy prędkościach ruchu pojazdu wynoszących 20, 40 i 60 km/h wykonano we wszystkich punktach na wydzielonym placu, zlokalizowanym przy skrzyżowaniu ulicy Szwedzkiej z ulicą Szwajcarską w Poznaniu (Rys. 6). Na podstawie uzyskanych wyników podjęto decyzję o ograniczeniu ilości punktów do 10 podczas przeprowadzania pomiarów przy wyższych prędkościach. Wybrano punkty o następujących oznaczeniach: 1, 3, 9, 10, 14, 16, 19, 21, 22 oraz 25. Pomiary przy prędkościach ruchu pojazdu w przedziale od 80 do 140 km/h przeprowadzono na odcinku autostrady A2, w okolicy Poznania pomiędzy węzłem w Komornikach, a węzłem w Luboniu (Rys. 7).



Rys. 6. Miejsca przeprowadzenia pomiarów poziomu drgań w wybranych 25-ciu punktach nadwozia pojazdu samochodowego przy prędkościach ruchu pojazdu wynoszących 20, 40 i 60 km/h

Fig. 6. Locations where vibration levels were measured at 25 selected points of the vehicle body at vehicle speeds of 20, 40 and 60 km/h



Rys. 7. Miejsca przeprowadzenia pomiarów poziomu drgań w wybranych 10 punktach nadwozia pojazdu samochodowego przy prędkościach ruchu pojazdu wynoszących 80, 100, 120, i 140 km/h

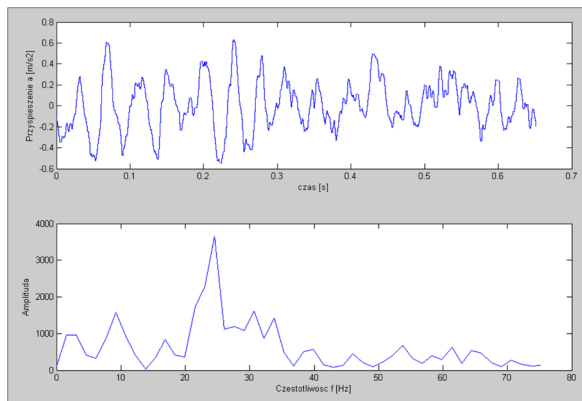
Fig. 7. Vibration level measurements were taken at 10 selected points on the vehicle body at vehicle speeds of 80, 100, 120, and 140 km/h.

Po uzyskaniu przez pojazd założonej prędkości ruchu, dokonywano pomiaru wartości drgań. Pomiary wykonywano trzykrotnie w każdym punkcie, przy czym w zakresie prędkości od 20 do 60 km/h po każdym pojedynczym pomiarze zatrzymywano pojazd i ponownie rozpędzano do tej samej prędkości, w celu wykonania kolejnego pomiaru. Po osiągnięciu założonej prędkości w zakresie od 80 do 140 km/h dokonywano w danym punkcie trzykrotnego pomiaru, zachowując około 10-sekundowy odstęp między kolejnymi pomiarami.

4. Wyniki badań

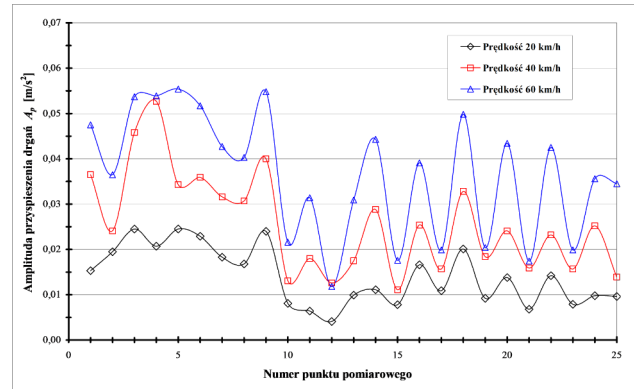
Dzięki zastosowaniu programu MATLAB możliwe było zobrazowanie przebiegu zmian przyspieszenia drgań, rejestrowanego w każdym punkcie pomiarowym w czasie 650 ms oraz wyznaczenie widma amplitudowo-częstotliwościowego tego przebiegu, jak i również wykonanie operacji całkowania sygnału. Przykładowe rezultaty dla punktu pomiarowego nr 1 przedstawiono na Rys. 8.

Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły na wyznaczenie amplitudy (maksymalnej wartości) przyspieszenia drgań A_p , amplitudy przemieszczenia (odkształceń) X_p oraz dominującej (rezonansowej) częstotliwości w widmie sygnału f_p . Zbiorcze zestawienie wartości amplitudy przyspieszenia drgań, częstotliwości rezonansowej oraz amplitudy odkształcenia oraz zawarto na Rys. 9–14, przy czym w celu zwiększenia przejrzystości nie umieszczono nich wartości błędów.

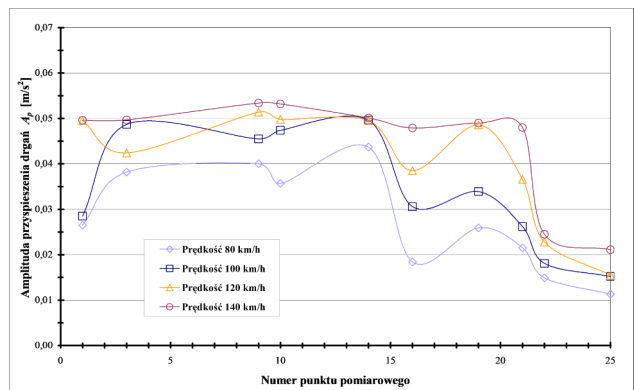


Rys. 8. Przebieg zmian przyspieszenia drgań w czasie (powyżej) wraz z widmem drgań (poniżej) w punkcie 1 przy prędkości pojazdu wynoszącej 60 km/h

Fig. 8. Time history of vibration acceleration (above) and vibration spectrum (below) at point 1 at a vehicle speed of 60 km/h

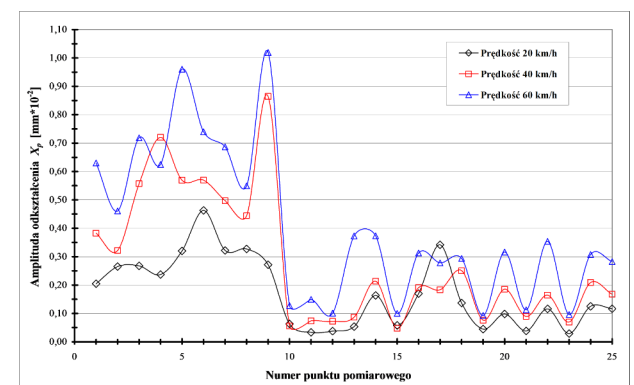


Rys. 9. Amplituda przyspieszenia drgań w 25 punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 20, 40 i 60 km/h
Fig. 9. Vibration acceleration amplitude at 25 points of the vehicle body recorded at driving speeds of 20, 40, and 60 km/h

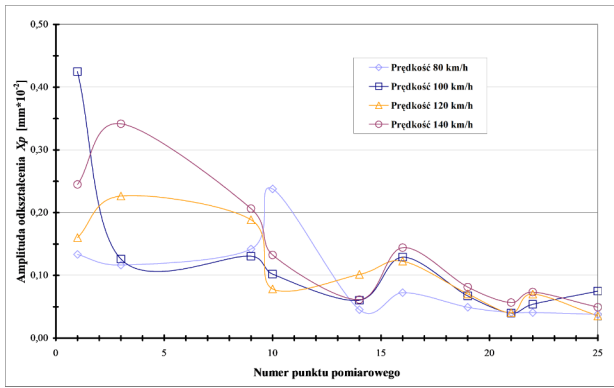


Rys. 10. Amplituda przyspieszenia drgań w wybranych 10-ciu punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 80, 100, 120 i 140 km/h

Fig. 10. Vibration acceleration amplitude at 10 selected points of the vehicle body recorded at driving speeds of 80, 100, 120 and 140 km/h

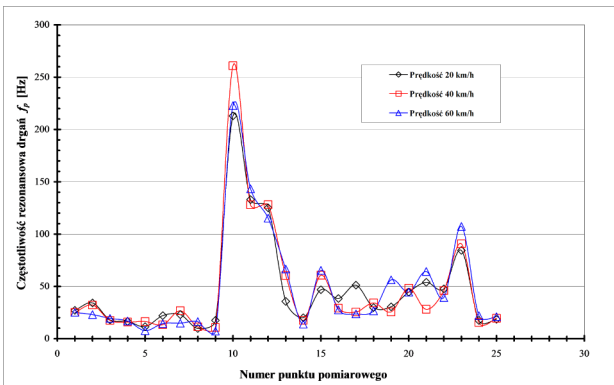


Rys. 11. Amplituda odkształcenia w 25 punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 20, 40 i 60 km/h
Fig. 11. Deformation amplitude at 25 points of the vehicle body recorded at velocities of 20, 40, and 60 km/h



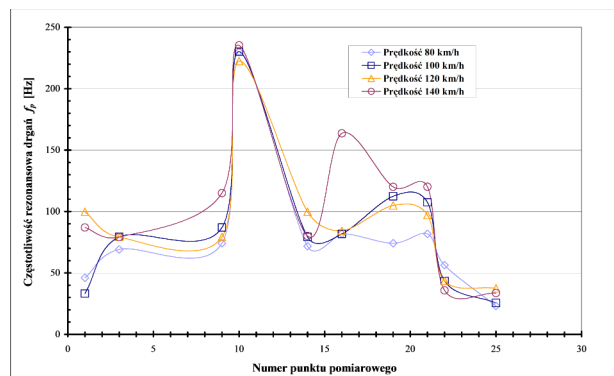
Rys. 12. Amplituda odkształcenia w wybranych 10 punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 80, 100, 120 i 140 km/h

Fig. 12. Deformation amplitude at 10 selected points of the vehicle body recorded at driving speeds of 80, 100, 120 and 140 km/h



Rys. 13. Częstotliwość rezonansowa drgań w 25 punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 20, 40 i 60 km/h

Fig. 13. Resonant frequency of vibrations at 25 points of the vehicle body recorded at driving speeds of 20, 40 and 60 km/h



Rys. 14. Częstotliwość rezonansowa drgań w wybranych 10 punktach nadwozia pojazdu zarejestrowana przy prędkościach ruchu 80, 100, 120 i 140 km/h

Fig. 14. Resonant frequency of vibrations at 10 selected points of the vehicle body recorded at driving speeds of 80, 100, 120, and 140 km/h

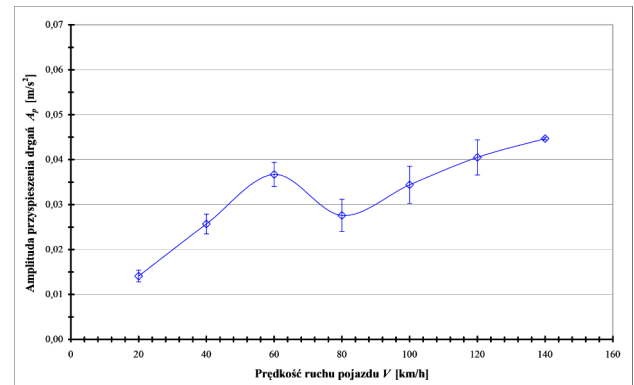
Poza wartościami maksymalnej amplitudy drgań i częstotliwości rezonansowej w poszczególnych punktach pomiarowych, przy zadanych prędkościach jazdy,

wyznaczono także wartości średnie tych wielkości. Wyznaczono je oddzielenie dla każdej prędkości ruchu pojazdu i przedstawiono zbiorczo w Tabl. 1 oraz na Rys. 15–17.

Tab. 1. Średnie wartości amplitudy przyspieszenia drgań, odkształcenia oraz częstotliwości rezonansowej przy prędkościach ruchu pojazdu wynoszących 20–140 km/h

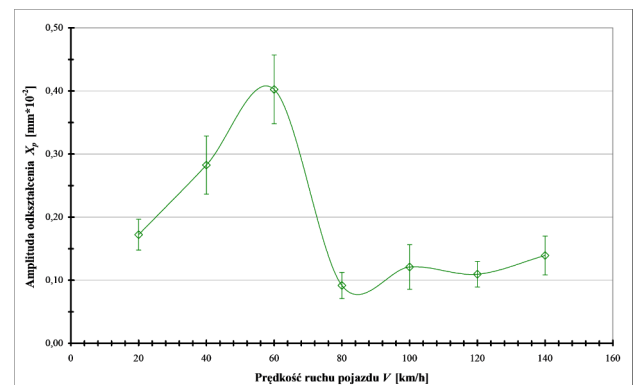
Tab. 1. Average values of vibration acceleration amplitude, strain and resonance frequency at vehicle speeds of 20–140 km/h

Prędkość pojazdu V [km/h]	Amplituda przyspieszenia drgań A_p [m/s ²]		Amplituda odkształcenia X_p [mm*10 ⁻²]		Częstotliwość rezonansowa drgań f_R [Hz]	
	średnia	błąd	średnia	błąd	średnia	błąd
20	0,0159	0,0012	0,1721	0,0245	33,1	3,5
40	0,0299	0,0022	0,2825	0,0462	24,1	4,0
60	0,0409	0,0025	0,4025	0,0544	31,3	5,0
80	0,0246	0,0033	0,0917	0,0207	63,3	6,1
100	0,0308	0,0037	0,1209	0,0354	71,3	9,9
120	0,0382	0,0041	0,1095	0,0203	78,2	7,8
140	0,0429	0,0040	0,1392	0,0308	94,3	13,3
średnia	0,0319		średnia	0,1884	średnia	56,5
błąd	0,0040		błąd	0,0473	błąd	11,3



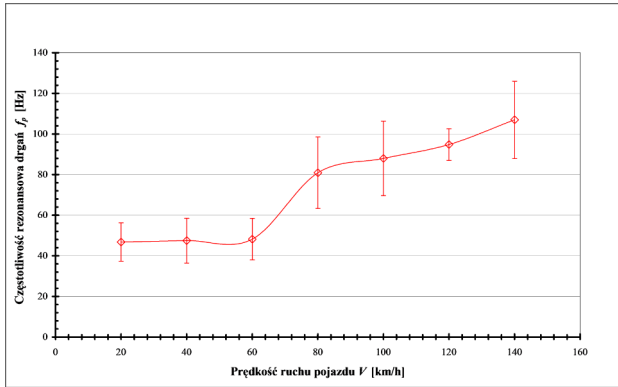
Rys. 15. Średnie wartości amplitudy przyspieszenia drgań punktów nadwozia przy prędkościach ruchu pojazdu od 20 do 140 km/h (ukazano 95% przedział ufności)

Fig. 15. Mean values of the acceleration amplitude of vibrations of body points at vehicle speeds from 20 to 140 km/h (95% confidence interval shown)



Rys. 16. Średnie wartości amplitudy odkształcenia punktów nadwozia przy prędkościach ruchu pojazdu od 20 do 140 km/h (ukazano 95% przedział ufności)

Fig. 16. Mean values of the deformation amplitude of the body points at vehicle speeds from 20 to 140 km/h (95% confidence interval shown)



Rys. 17. Średnie wartości częstotliwości rezonansowej drgań punktów nadwozia przy prędkościach ruchu pojazdu od 20 do 140 km/h (ukazano 95% przedział ufności)

Fig. 17. Mean values of the resonance frequency of body vibration points at vehicle speeds from 20 to 140 km/h (95% confidence interval shown)

5. Analiza wyników badań i wnioski

Badania poziomu drgań przeprowadzono w punktach nadwozia pojazdu arbitralnie wybranego pojeździe, poruszającego się po płaskiej nawierzchni z prędkościami od 20 do 140 km/h. Poziom drgań rejestrowanych w poszczególnych punktach nadwozia zależał zarówno od czynników związanych z pojazdem, takich jak sztywność nadwozia i układu zawieszenia, rodzaj ogumienia, wytłumienie drgań silnika, jak i niezwiązanych z pojazdem, np. wymuszenia pochodzące od nierówności nawierzchni. Z tego względu, nie można dokonać uogólnienia wniosków wyprowadzonych na podstawie uzyskanych rezultatów na inne rodzaje pojazdów samochodowych, a uzyskane wyniki należy traktować jako wstępne oszacowanie poziomu oddziaływań mechanicznych, występujących na powierzchni karoserii wybranego samochodu osobowego.

Analizując uzyskane wyniki badań należy stwierdzić, że uzyskane rezultaty pomiarów amplitudy przyspieszenia drgań, częstotliwości rezonansowej, a także amplitudy odkształcenia w poszczególnych punktach nadwozia charakteryzuje stosunkowo duży rozrzut wartości. Wartości amplitudy przyspieszenia drgań we wszystkich punktach pomiarowych nie przekraczają $0,1 \text{ m/s}^2$. Wśród wyników dominują wartości poniżej $0,05 \text{ m/s}^2$. Przyspieszenia drgań zależą od prędkości jazdy samochodu, przy której dokonywano pomiaru. W zdecydowanej większości punktów pomiarowych uzyskano zależność wzrostu amplitudy drgań wraz ze wzrostem prędkości pojazdu (Rys. 9, 10 i 15).

Wartości amplitudy odkształcenia nie przekraczają poziomu $1,05 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$. Wyniki te obarczone są dodatkowym błędem wynikającym z operacji całkowania numerycznego. Zakres zmian wartości tego parametru, a zatem i przebieg krzywych na wykresach jest zbliżony do przebiegów zmian wartości przyspieszenia drgań (porównując np. Rys. 9 i 11). Pochodną zastosowanego sposobu estymacji wartości jest m.in. stosunkowo duży spadek wartości średniej odkształcenia (Rys. 16), występujący powyżej prędkości 60 km/h i wynikający z niewielkiego spadku średniej wartości

przyspieszenia drgań powyżej tej prędkości ruchu pojazdu (Rys. 15).

Trudno określić trend zależności częstotliwości rezonansowej widma drgań od prędkości pojazdu. Na podstawie analizy danych zawartych na Rys. 13, 14 i 17, można stwierdzić niejednoznaczny wpływ prędkości pojazdu na częstotliwość rezonansową drgań. W zakresie prędkości ruchu od 20 do 60 km/h (Rys. 13) dominują wartości z przedziału 4–70 Hz, prawie całkowicie niezależne od prędkości pojazdu. Powyżej 60 km/h (Rys. 14) wartości częstotliwości rezonansowej zawierają w większości w przedziale od 50 do 100 Hz. W kilku punktach można zaobserwować niewielki wzrost wartości częstotliwości wraz ze wzrostem prędkości ruchu pojazdu, przy czym zasadność takiego stwierdzenia osłabia wspomniany duży rozrzut wyników, uwidaczniający się w wartościach wyliczonych błędów pomiarowych.

Warto zwrócić uwagę na stosunkowo duże wartości częstotliwości rezonansowej wyznaczonej w punktach pomiarowych, znajdujących się na przednim nadkolu po lewej stronie pojazdu (Rys. 13 – pkt nr 10, 11 i 12). Jednocześnie w punktach tych odnotowano jedno z najmniejszych wartości odkształcenia (Rys. 11). Przyczyn odstępstwa wyników postanowiono poszukać, dokonując szczegółowych oględzin pojazdu, podczas których stwierdzono występowanie usterki w postaci luzu mocowania przedniego reflektora do nadwozia. Wskazaną usterkę można uznać za źródło dodatkowych drgań podczas ruchu pojazdu.

Większość punktów w których dokonywano pomiarów została rozmieszczona symetrycznie na powierzchni nadwozia pojazdu. Należało się zatem spodziewać uzyskania zbliżonych wartości w tych punktach. Na podstawie uzyskanych rezultatów należy jednak wskazać, że w przypadku niektórych par symetrycznie rozłożonych punktów uzyskane wyniki różnią się istotnie, np. średnia wartość częstotliwości rezonansowej symetrycznie rozmieszczonych punktów nr 17 i 19 przy prędkości 60 km/h wynosi odpowiednio 23,7 i 56,2 Hz.

Biorąc pod uwagę wszystkie uzyskane wyniki badań, wartości średniej amplitudy przyspieszenia drgań wyniosły $0,03 \text{ m/s}^2$, średniej amplitudy odkształcenia $0,1884 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$, a średniej częstotliwości rezonansowej drgań 73,3 Hz. Uwzględniając jednakże występowanie źródła dodatkowych drgań związanych z wykrytą usterką w pojeździe oraz istotne różnice wyników dla niektórych symetrycznie umiejscowionych punktów przeprowadzono dodatkową analizę wyników, w której pominięto zarówno wartości uzyskane w punktach znajdujących w obszarze wykrytej usterki (punkty nr 10, 11 i 12), jak i wyniki uzyskane w punktach symetrycznie rozmieszczonych na powierzchni nadwozia, których różnica przekraczała 100% wyniku o wartości mniejszej.

Wartości średniej amplitudy przyspieszenia drgań i odkształcenia wyznaczone na podstawie dodatkowej analizy nie różniły się istotnie od wartości wyznaczonych z uwzględnieniem wszystkich wyników pomiarów, natomiast

dla częstotliwości rezonansowej uzyskano wynik mniejszy o 23% w stosunku do wyniku pierwotnego. Uzyskane rezultaty postawiono uznać za wyniki ostateczne. Na podstawie wykonanej dodatkowej analizy:

- amplitudę przyspieszenia drgań na poziomie 0,03 - 0,04 m/s²,
 - amplitudę odkształcenia na poziomie $0,1884 \cdot 10^{-2}$ mm oraz
 - częstotliwość rezonansową drgań na poziomie 40-60 Hz,
- przyjęto jako wartości odniesienia, dla określenia stopnia zintensyfikowania laboratoryjnych badań degradacji połączeń.

6. Literatura

- [1] G.S. Paddan, M.J. Griffin "Evaluation of whole-body vibration in vehicle" Journal of Sound and Vibration, vol. 253, no. 1, pp. 195-213, 2002.
- [2] B. Rehn i in. "Variation in exposure to whole-body vibration for operator of forwarder vehicle-aspects on measurement strategies and prevention" International Journal of Industrial Ergonomics, no. 35, pp. 831-842, 2005.
- [3] G.A. Hampel, W-R Chang "Body height change from motor vehicle vibration" International Journal of Industrial Ergonomics, no. 23, pp. 489-498, 1999.
- [4] I. Hermanns i in. "Simultaneous field measuring method of vibration and body posture for assessment of seated occupational driving tasks" International Journal of Industrial Ergonomics, no. 38, pp. 255-263, 2008.



Dr inż. Ryszard Mańczak pracuje na Politechnice Poznańskiej.