

## ANALIZA SKŁADOWYCH PRZYSPIESZEŃ LINIOWYCH STRUKTURY NADWOZIA POJAZDU UŻYTKOWEGO PODCZAS ZMIANY BIEGU

W artykule przedstawiono i omówiono wyniki pomiarów drgań nadwozia pojazdu użytkowego w czasie zmiany biegu. Dane uzyskane w czasie testów drogowych poddano analizie w dziedzinie częstotliwości i poddano ocenie pod kątem wskaźnika intensywności drgań oddziałujących na organizm człowieka.

### WSTĘP

Użytkownik pojazdu poruszającego się po drodze narażony jest na drgania pojazdu, które są wynikiem wymuszenia od nierówności nawierzchni drogi, współpracujących elementów układu jezdnego oraz napędowego. Przejściowym efektem oddziaływania drgań jest zmęczenie, zmniejszenie zdolności koncentracji, pogorszenie samopoczucia obniżając w ten sposób jego wydajność pracy, co jest szczególnie istotne w przypadku osób kierujących pojazdami użytkowymi (samochód ciężarowy, autobus). W celu zminimalizowania drgań nadwozia pojazdu wynikającego z losowych wymuszeń nierówności drogi, pojazd jest wyposażony w zawieszenie z elementami sprężysto - tłumiącymi o określonej charakterystyce. W pojazdach użytkowych wyposażonych w zawieszenie pneumatyczne współczynnik sztywność i tłumienia elementów zawieszenia jest dostosowywany do aktualnego obciążenia osi pojazdu, dzięki czemu drgania wynikające z koła toczącego się po nierównościach drogi nie są tak odczuwalne.

Znacznie bardziej odczuwalne na powierzchni elementów nadwozia pojazdu użytkowego (np. szyby) są drgania wywołane przez elementy układu napędowego takie jak: silnik, sprzęgło, wał napędowy czy mechanizm różnicowy. Jest to związane z większą masą własną i wymiarami poszczególnych podzespołów niż w samochodzie osobowym lub dostawczym.

Z punktu widzenia mechaniki pojazd jest traktowany jako układ ciał sztywnych połączonych ze sobą w sposób umożliwiający najbardziej korzystne przenoszenie sił i momentów. W większości połączeń występują elementy sprężyste i tłumiące drgania, a pojazd traktowany jest jako układ składający się z masy nieresorowanej (koła, osie oraz wachacze) i resorowanej (rama lub nadwozie pojazdu). Ważną rolę odgrywa również transmitancja widmowa pojazdu i wynikająca z niej charakterystyka amplitudowo - częstotliwościowa. Opracowane dla różnych zestawów parametrów pojazdu charakterystyki amplitudowo - częstotliwościowe pomagają przeprowadzić jego analizę dynamiczną (płynność ruchu, odrywanie się kół od drogi, stuki lub szarpnięcia uszkodzonych elementów układu napędowego).

W wyniku przeprowadzonych prac doświadczalnych związanych z określeniem parametrów trakcyjnych pojazdu użytkowego w oparciu o pomiar przyspieszenia bryły nadwozia stwierdzono występowanie amplitud w zróżnicowanym zakresie częstotliwości. Zarejestrowany sygnał czujnika przyspieszenia, który został zamocowany na przedniej szybie badanego pojazdu poddano analizie w dziedzi-

nie częstotliwości uzyskując w ten sposób informacje o potencjalnym źródle drgań występujących w pojeździe.

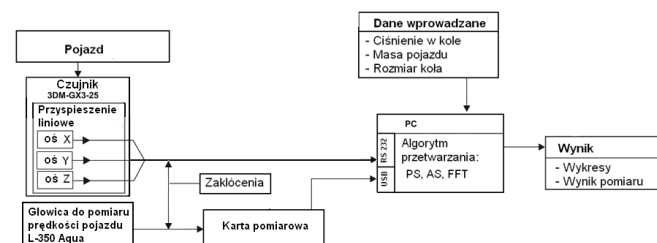
Podjęte prace mają na celu określenie rozkładu wartości współczynnika odczuwalności drgań w kabinie pojazdu użytkowego w czasie zmiany biegu oraz wstępną ocenę możliwości wykorzystania składowych przyspieszeń liniowych nadwozia do identyfikacji występujących niesprawności w układzie napędowym.

### 1. BADANIA DROGOWE

#### 1.1. Aparatura pomiarowa

Do badań wykorzystano autobus (Autosan A10.12T) oraz pojazd ciężarowy (MAN 42.7). Pojazdy te są w ciągłej eksploatacji w ruchu miejskim, co powoduje znaczny wzrost zużycia elementów układu napędowego oraz jezdnego w wyniku oddziaływania nierówności drogi oraz częstej zmiany biegów. Jednym z takich elementów jest zespół sprzęgła, którego niesprawność objawia się poślizgiem w trakcie przenoszenia zwiększonego momentu oraz szarpnięcia w trakcie zmiany biegu. W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę identyfikacji drgań generowanych przez układ napędowy w trakcie zmiany przełożenia, w oparciu o drgania nadwozia pojazdu.

Układ pomiarowy (rys.1) składa się z czujnika przyspieszenia 3DM-GX3-25, (którego zakres pomiarowy wynosi  $\pm 50 \text{ m/s}^2$ ), głowicy do bezdotykowego pomiaru prędkości nadwozia L-350 AQUA (zakres pomiaru: 0.3 - 250 km/h) podłączonej do karty pomiarowej NI USB 6212. Czujnik pomiaru przyspieszenia zamontowano wewnątrz kabiny pojazdu na przedniej szybie.



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego

#### 1.2. Analiza sygnału przyspieszenia

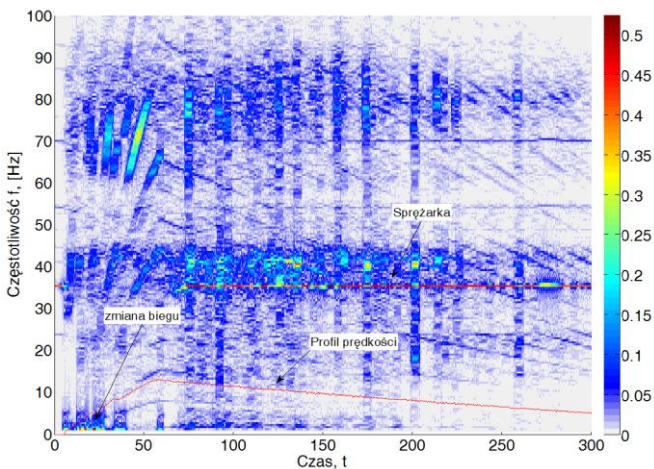
W rozpatrywaniu zagadnienia analizy rozkładu wartości współczynnika odczuwalności drgań diagnostyki w oparciu o drgania wybranych elementów pojazdu korzystne jest przedstawienie zmian wartości sygnału w układzie czasu i częstotliwości. Możliwe jest wówczas przedstawienie zmiany wartości widma amplitudowego dla zmiennej prędkości jazdy. Jedną z metod analizy czasowo

częstotliwościowych jest Krótkookresowa Transformata Fouriera STFT (Short Time Fourier Transform), którą opisuje równanie (1).

$$STFT[x_w(t, \tau)] = \int_{-\infty}^{+\infty} w(t, \tau)x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

gdzie:  $x(t)$ - przebieg czasowy reprezentujący sygnał wejściowy poddawany analizie,  $\tau$ - pozycja okna czasowego w dziedzinie czasu,  $f$ - częstotliwość,  $t$ - czas,  $x_w(t, \tau) = w(t, \tau)x(t)$  – „oknowany” sygnał wejściowy

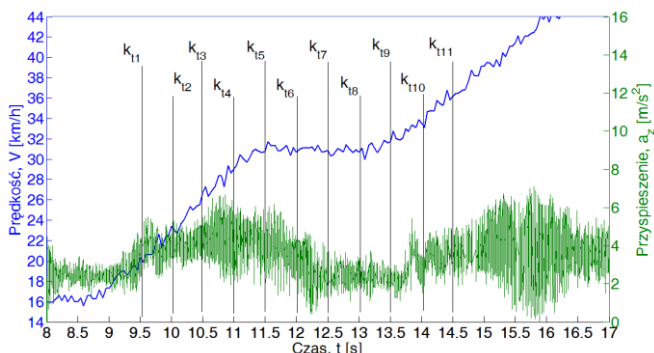
Stosując analizę czasowo - częstotliwościową STFT (rys.2) dla próby rozpędzania i swobodnego wybiegu można zauważyć pasma lokalnych wymuszeń wynikających z nierówności drogi oraz amplitudy dominujące w zakresie częstotliwości pracy sprzężarki (37 Hz) o amplitudzie 0,47 m/s<sup>2</sup>. Drgania te są widoczne w czasie postoju pojazdu oraz w fazie swobodnego wybiegu.



**Rys. 2** Widmo czasowo-częstotliwościowe amplitudy drgań nadwozia autobusu.

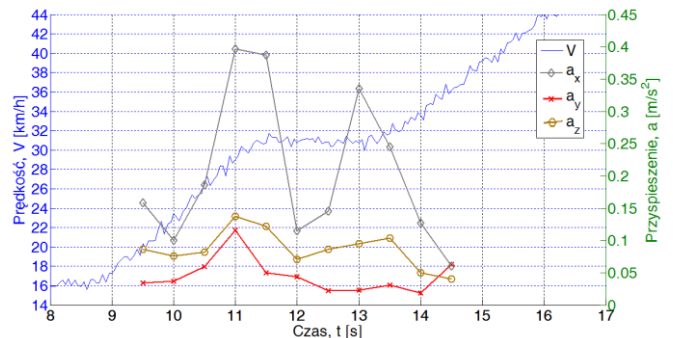
W procesie zmiany przełożenia następuje chwilowe rozłączenie silnika ze skrzynią biegów, które nie powinno odbywać się w sposób płynny nie powodując drgań.

W celu identyfikacji zmian drgań nadwozia w procesie zmiany biegu dokonano analizy sygnału przyspieszenia w oparciu o szybką transformatę Fouriera (FFT) dla przyjętych fragmentów oznaczonych jako:  $k_{t1}, k_{t2}, k_{t3} \dots k_{t11}$  (rys.3) z interwałem czasu  $\Delta t = 0,5$  s. Takie rozwiązanie pozwala na przeprowadzenie identyfikacji symptomów niesprawności zarówno sprzęgła (szarpnięcie) jak i skrzyni biegów (uderzenie w wyniku zazębienia). Analizę przyspieszeń kierunkowych wybranych zakresów zmiany biegu, przeprowadzono dla autobusu oraz pojazdu ciężarowego.



**Rys. 3.** Fragment wykresu prędkości przy zmianie 3 biegu (Autobus).

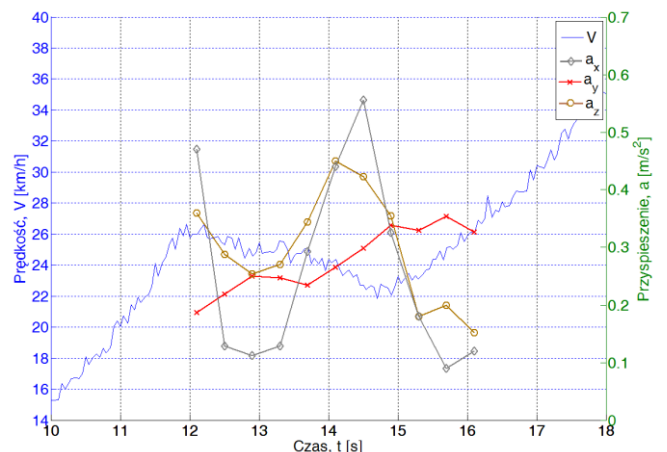
Dokonując analizy poszczególnych składowych przyspieszeń (oś x, oś y, oś z) dla przyjętych zakresów ( $t_{kn}$ ) stwierdzono, że wartości amplitud w kierunku poprzecznym (oś y) oraz pionowym (oś z) nie przekraczają 0,15 m/s<sup>2</sup> (rys.4). Widoczny jest natomiast znaczny wzrost amplitud przyspieszeń w kierunku pionowym (oś x) widoczny w trakcie włączenia i wyłączenia sprzęgła.



**Rys. 4.** Profil zmiany przyspieszeń podczas zmiany biegu (autobus)

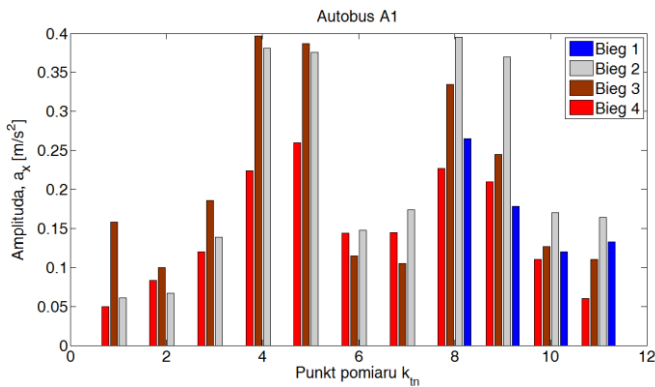
Podczas zmiany biegu w punkcie  $k_{t4}$  następuje rozłączenie napędu przy jednoczesnym zmniejszeniu dawki paliwa, czego efektem jest chwilowa zmiana przyspieszenia pojazdu kierunku wzdłużnym (oś x). Występuje wówczas ruch opóźniony, wynikający z oporu ruchu pojazdu (aerodynamiczne, masa) oraz współpracy poszczególnych elementów w układzie napędowym (skrzynia biegów, przekładnia główna, tarcie pomiędzy oponą, a nawierzchnią drogi). Różnica czasu dla  $k_{t5} - k_{t8}$  jest określana jako czas przełączania (zmiany) biegu, w trakcie której następuje spadek amplitudy przyspieszeń do 0,12 m/s<sup>2</sup>.

Wyłączenie sprzęgła w punkcie  $k_{t8}$  powoduje połączenie silnika ze skrzynią biegów i przekazanie momentu napędowego. Pojazd znów osiąga prędkość, jaką miał poprzednio w punkcie  $k_{t4}$ . Widoczny jest również wzrost wartości amplitudy w kierunku wzdłużnym (oś x), której wartość może zależeć od stanu technicznego sprzęgła (poślizg, szarpnięcie).



**Rys. 5.** Profil zmiany przyspieszeń podczas zmiany 3 biegu pojazdu ciężarowego).

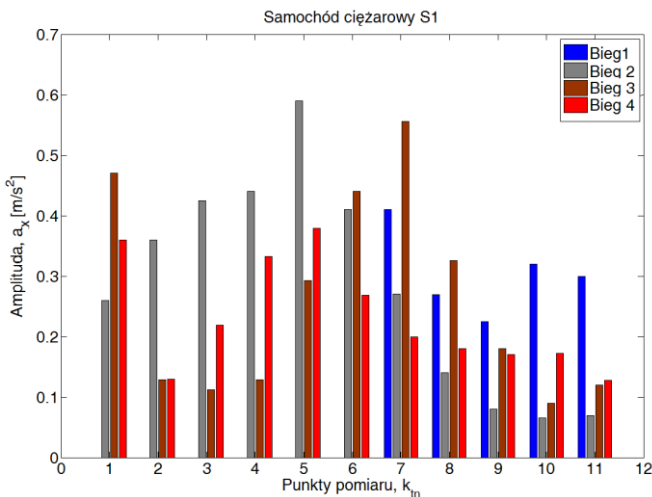
Dokonując analizy składowych przyspieszeń drgań masy resorowanej samochodu ciężarowego (rys.5) stwierdzono wzrost wartości amplitud przyspieszenia przy wyłączeniu oraz włączeniu sprzęgła. Jednak amplitudy mają większą wartość niż w przypadku wyników uzyskanych dla autobusu. Jest szczególnie widoczne w kierunku osi poprzecznej ( $a_y$ ) oraz pionowej ( $a_z$ ), co wynika z przemieszczenia kabiny względem ramy pojazdu.



**Rys. 6.** Rozkład amplitud przyspieszenia dla autobusu w trakcie zmiany biegu: bieg 2 przy 16 km/h, bieg 3 przy 30 km/h, bieg 4 przy 50 km/h.

Rozkład wartości amplitud przyspieszenia w kierunku wzdłużnym (dla autobusu) w trakcie zmiany poszczególnych biegów nie jest stały (rys.6). Wzrost prędkości pojazdu skutkuje zmniejszeniem amplitudy przyspieszeń zarówno w trakcie włączania jak i wyłączenia sprzęgła. Szczególnie jest to widoczne w trakcie włączania sprzęgła, przy ponownym przekazywaniu momentu napędowego z silnika do skrzyni biegów.

W przypadku samochodu ciężarowego wartości amplitud w trakcie włączania sprzęgła (punkt pomiaru 1 rys.7) dla poszczególnych biegów są zbliżone do wartości uzyskanych w punkcie 1 dla autobusu. Jednak dla biegu 2 wartość amplitudy nie zmniejsza się, lecz wzrasta z 0,38 m/s<sup>2</sup> do 0,61 m/s<sup>2</sup>. Świadczy to o występujących znacznych oporach w układzie napędowym skrzynia biegów-przekładnia główna. Wzrost prędkości liniowej pojazdu spowodował znaczne zmniejszenie amplitudy przyspieszeń.



**Rys. 7.** Rozkład amplitud przyspieszenia dla pojazdu ciężarowego w trakcie zmiany biegu: bieg 2 przy 10 km/h, bieg 3 przy 25 km/h, bieg 4 przy 45 km/h.

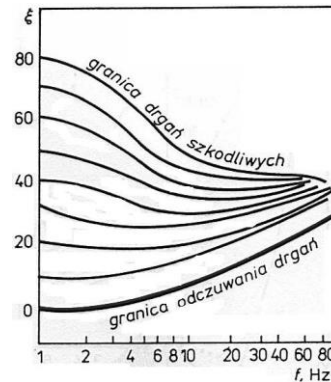
Analiza przebiegu przyspieszeń dla obydwu badanych pojazdów wykazała, że amplitudy w analizowanych punktach uzyskują wartości od 0,15 m/s<sup>2</sup> do 0,4 m/s<sup>2</sup>, które oddziałują na kierowcę pojazdu. Mając na uwadze wielokrotną cykliczność zmiany biegów w czasie eksploatacji pojazdu użytkowego (szczególnie w warunkach miejskich) uzyskane wyniki poddano analizie pod względem wartości współczynnika odczuwalności drgań na organizm kierowcy.

## 2. ANALIZA WSPÓŁCZYNNIKA ODCZUWALNOŚCI DRGAŃ

Wpływ drgań na organizm ludzki oceniany jest za pomocą poziomu natężenia drgań lub tzw. wskaźnika intensywności drgań. Do oceny intensywności działania drgań nadwozia badanych pojazdów na organizm ludzki wykorzystano równanie (2) oparte na prawie Webera-Fechnera. Rozkład krzywych odczuwalności drgań przez człowieka przedstawiono na rys. 8.

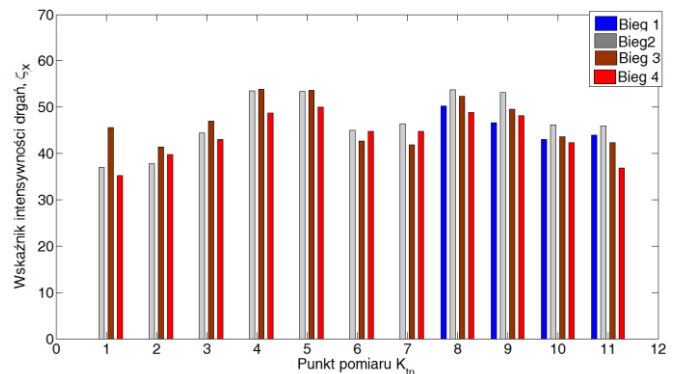
$$\xi = 10 \log \frac{a}{a_0} \quad (2)$$

gdzie: a- maksymalna amplituda drgań, a<sub>0</sub>- Natężenie drgań odniesienia, wg Zellera wartość a<sub>0</sub> drgań wzorcowych na granicy odczuwalności przez człowieka wynosi 0,1 cm/s<sup>2</sup>.



**Rys. 8.** Krzywe odczuwania drgań przez człowieka [9].

Dokonując analizy przyspieszeń masy resorowanej autobusu w oparciu o równanie (2) uzyskano wartości wskaźnika odczuwalności drgań  $\xi$  w zakresie od 35 do 52, które można określić jako wyraźnie odczuwalne, nie stanowiące zagrożenia szkodliwości dla użytkownika pojazdu.

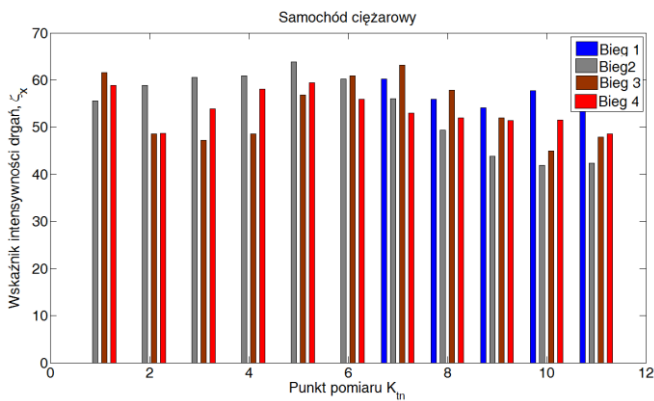


**Rys. 9.** Wskaźnik intensywności drgań (autobus).

W przypadku samochodu ciężarowego wartość wskaźnika  $\xi$  uzyskała większe wartości względem autobusu (rys.10), których zakres wynosi od 45 do 63. Jest to zakres, którego górna granica zbliża się do granicy drgań szkodliwych.

Największa wartość intensywności drgań struktury kabiny występują przy zmianie 2 biegu. Natomiast po wyłączeniu sprzęgła (prene przeniesienie momentu obrotowego z silnika do skrzyni biegów) największe wartości uzyskano dla biegu pierwszego. Świadczy to znacznym zużyciu eksploatacyjnym układu napędowego badanego samochodu ciężarowego.





**Rys. 10.** Wskaźnik intensywności drgań (samochód ciężarowy).

Można zatem przyjąć, że długotrwała eksploatacja badanego samochodu ciężarowego w ruchu miejskim, przy częstej zmianie biegu może być szkodliwa.

## PODSUMOWANIE

W wyniku realizacji prac wykorzystano pomiar drgań nadwozia wybranych samochodów użytkowych (autobus i samochód ciężarowy) do określenia rozkładu wartości współczynnika odczuwalności drgań w czasie zmiany biegu oraz wstępną ocenę możliwości wykorzystania składowych przyspieszeń liniowych nadwozia do identyfikacji występujących niesprawności w układzie napędowym.

Uzyskane wyniki analizy zarejestrowanego sygnału w dziedzinie częstotliwości umożliwiły przeprowadzenie identyfikacji niesprawności w układzie napędowym samochodu ciężarowego. Wykazano również znacznie niższy wskaźnik intensywności drgań niż w badanym autobusie. Przeprowadzone badania mają charakter poznawczy, i wymagają przeprowadzenia pomiarów dla większej liczby pojazdów z zastosowaniem metod statystycznych, w celu opracowania klasyfikatora intensywności drgań wykorzystując proces zmiany biegów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Broł S., Mamala J., Augustynowicz A., Prażnowski K.: PAAF- Urządzenie mechatroniczne do diagnostyki układu napędowego. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 4(85), Warszawa, 2011.
2. Burdzik R.: Analiza drgań elementów struktury pojazdu samochodowego, generowanych podczas pracy silnika i układu prze-

niesienia napędu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, zeszyt Transport 79, Gliwice, 2013.

3. Dąbrowski K., Ślaski G.: Analiza zakresu zmienności pracy zawieszenia dla różnych warunków ruchu i poziomu tłumienia zawieszenia w aspekcie automatycznego rozpoznawania rodzaju nawierzchni. Materiały Konferencyjne: Development of Automotive Engineering and Safety, Warszawa, 22-23.10.2014.
4. Kamiński E., Pokorski J.: Dynamika zawiesznień i układów napędowych pojazdów samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1983.
5. Mitschke M.: Dynamika samochodu, tom 2 Drgania. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1989.
6. Prażnowski K., Bieniek A., Graba M.: Wpływ sztywności ogumienia na drgania pojazdu wywołane niewyrównoważeniem koła. Logistyka- nauka 4/2015, s. 5411- 5420, Poznań, 2015.
7. Prochowski L.: Mechanika ruchu, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005
8. Reimpell J., Betzler J.: Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2004
9. [http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt\\_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr\\_16.htm](http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr_16.htm)

### Analysis of composition of linear acceleration body structure of vehicle during the gear changing

*The article presents and discusses the results of vibration measurements of a commercial vehicle body during a gear change. Data obtained during road tests were analyzed in the frequency domain and evaluated for the vibration intensity index affecting the human body.*

Autorzy:

dr inż. **Krzysztof Prażnowski** – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów, k.praznowski@po.opole.pl.

mgr inż. **Dawid Drabik** – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów.

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.155

Data zgłoszenia: 2018.05.24 Data akceptacji: 2018.06.15