

## THE RESEARCH OF INFLUENCE OF ADDITIONAL VIBRATION ISOLATORS SYSTEM ON DYNAMICS LOADS OF PASSENGERS

Wacław Borkowski, Zdzisław Hryciów

Military University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 6839531, 6839739, fax.: +48 22 6837370, 6837382  
e-mail: w.borkowski@wme.wat.edu.pl, zhryciow@wat.edu.pl

### Abstract

*In the paper chosen questions relating to improvement of ride comfort of passengers in wheeled vehicles are described. The solution consisting on use additional vibration isolation system with rubber-metal connectors are introduced. The object of researches, researches stand and measuring apparatus are described. The experimental conditions are passed as well as speed of vehicle and applied roadblocks.*

*In the paper the examples results of experimental researches are put as well as for determinist and random excitations. The vertical accelerations of car body with vertical accelerations of additional vibration isolation system are compared. Comparisons are achieved with using standard deviations of runs and RMS of accelerations. In the paper the influence of vibration in vertical and horizontal directions are estimated. Advantages of this type of system are passed as well.*

*Diagram of vehicle with the researches stand, researches stand in vehicle, view of roadblocks, vertical acceleration and displacement of plate towards a car body for 30 km/h, vertical accelerations and RMS of vertical accelerations, transverse accelerations for unpaved road and 20 km/h are presented in the paper.*

**Keywords:** transport, vehicles, suspension, vibration, ride comfort

## BADANIA WPŁYWU ZASTOSOWANIA DODATKOWEGO UKŁADU WIBROIZOLACJI NA OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE PRZEWOŻONYCH OSÓB

### Streszczenie

*W pracy opisano wybrane zagadnienia dotyczące poprawy komfortu jazdy osób przewożonych w pojazdach samochodowych. Przedstawiono rozwiązanie polegające na zastosowaniu dodatkowego układu izolacji drgań zbudowane w oparciu o łączniki gumowo-metalowe. Opisano obiekt badań, stanowisko badawcze oraz zastosowaną aparaturę pomiarową. Podano również warunki prowadzenia badań eksperymentalnych, a w tym prędkości jazdy oraz stosowane przeszkody.*

*W pracy zamieszczono przykładowe wyniki badań eksperymentalnych, otrzymanych zarówno dla wymuszeń deterministycznych oraz wymuszeń o charakterze losowym. Porównano przebiegi przyspieszeń pionowych nadwozia pojazdu z przyspieszeniami pionowymi dodatkowego układu wibroizolacji. Porównania dokonano przy wykorzystaniu odchyień standardowych zarejestrowanych przebiegów oraz wartości skutecznych przyspieszeń. W pracy oceniono również wpływ drgań w kierunku pionowym, wzdłużnym i poprzecznym na komfort jazdy. Podano także korzyści wynikające ze stosowania tego typu układu.*

*Schemat pojazdu ze stanowiskiem badawczym, stanowisko badawcze w pojeździe, widok przeszkody, przyspieszenia pionowe i przemieszczenie płyty względem nadwozia dla 30 km/h, przyspieszenia pionowe dla drogi nieutwardzonej i 20 km/h, wartości skuteczne przyspieszeń pionowych dla drogi nieutwardzonej i prędkości 20km/h, przyspieszenia w kierunku poprzecznym dla drogi nieutwardzonej i prędkości 20km/h są prezentowane w artykule.*

**Słowa kluczowe:** transport, pojazdy, zawieszenie, drgania, komfort jazdy

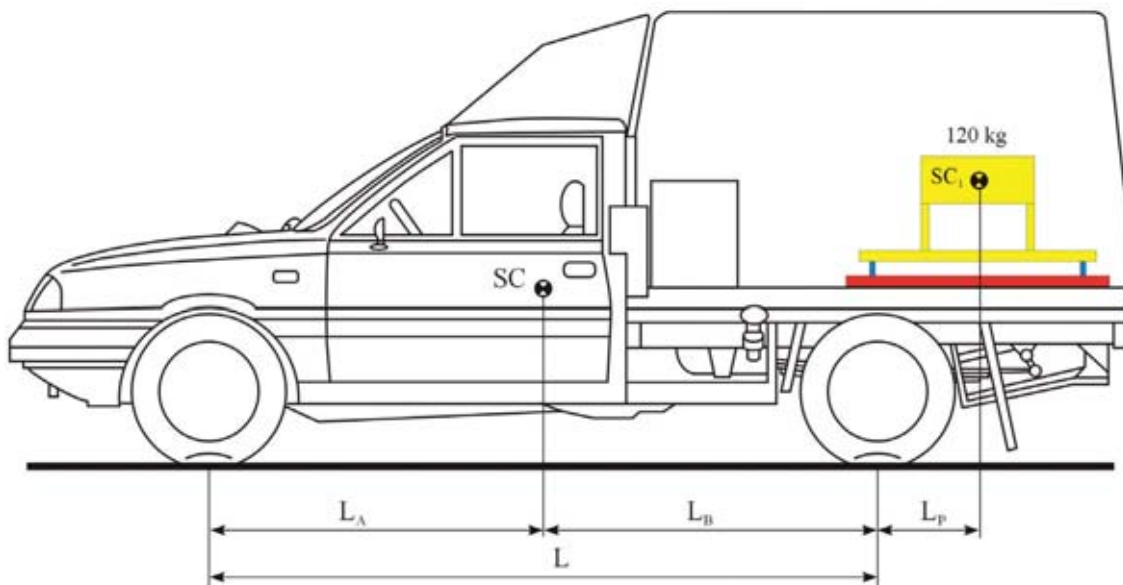
## 1. Wstęp

Zagadnienia dotyczące podwyższania komfortu osób znajdujących się w pojeździe, a w szczególności kierowcy, są szeroko opisywane w literaturze. Bardzo rzadko można jednak spotkać rozważania dotyczące osób niepełnosprawnych bądź chorych przewożonych pojazdami samochodowymi, a tego typu problematyka jest coraz częściej podnoszona w aspekcie likwidowania barier funkcjonalnych w otaczającym nas środowisku. Nieliczne publikacje z tego zakresu dotyczą zazwyczaj określenia poziomu obciążeń dynamicznych osób chorych, rannych lub niepełnosprawnych w trakcie ich transportu. W czasie podróży samochodem osoby niepełnosprawne przewożone na wózkach inwalidzkich są w większym stopniu narażone na działanie obciążeń dynamicznych wywołanych ruchem pojazdu. Zapewnienie bezpiecznego przewozu osób niepełnosprawnych oraz odpowiedniego komfortu jazdy wymaga zarówno odpowiedniego przystosowania do tego celu pojazdu, jak i wyposażenie osoby niepełnosprawnej w odpowiednie urządzenie techniczne ułatwiające wsiadanie i wysiadanie oraz zabezpieczające podczas transportu.

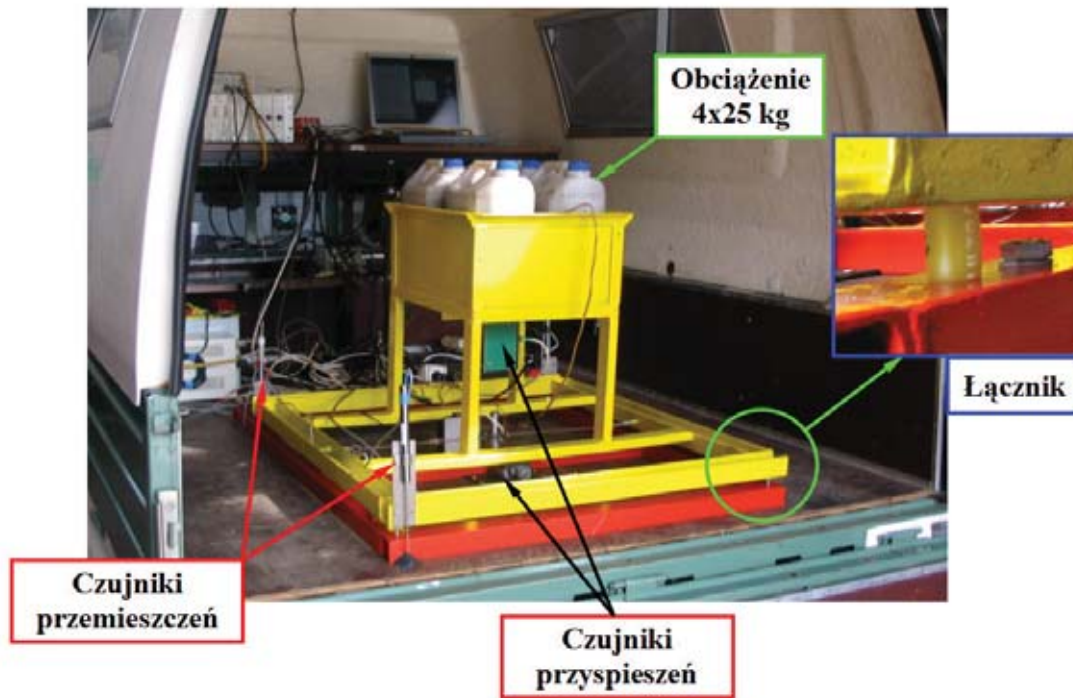
W celu poprawy komfortu jazdy przewożonych osób, w pracach [1], [2] zaproponowano rozwiązanie polegające na zastosowaniu w pojeździe dodatkowego układu wibroizolacji opartego na zastosowaniu elastomerowych elementów sprężystych. Badania wpływu zastosowanego rozwiązania w głównej mierze przeprowadzono w oparciu o opracowany model matematyczny pojazdu. Jednakże w celu określenia wiarygodności otrzymanych wyników badań modelowych niezbędne było również przeprowadzenie badań eksperymentalnych.

## 2. Obiekt badań

Obiektem badań był samochód Polonez Truck (rys. 1) ze skrzynią ładunkową zabudowaną nadwoziem z tworzywa sztucznego. Na skrzyni ładunkowej zamocowana było stanowisko pomiarowe wraz z aparaturą pomiarową i układem rejestrującym. Stanowisko złożone było z dwóch części (rys. 2). Pierwszą stanowiła rama, zamocowana sztywno do nadwozia pojazdu (podłogi przestrzeni bagażowej). Stanowiła ona punkt mocowania dolnych końców łączników elastycznych. Drugą część stanowiska stanowiła rama górna wraz z koszem, w którym znajdowały się obciążniki. W czasie badań rama obciążona była masą 100kg. Pomiędzy ramami znajdowały się cztery łącniki elastyczne. Umieszczone one były w czterech narożach.



Rys. 1. Schemat pojazdu ze stanowiskiem badawczym  
Fig. 1. Diagram of vehicle with the researches stand



Rys. 2. Stanowisko badawcze w pojeździe  
Fig. 2. The researches stand in vehicle

W skład układu pomiarowego wchodziły trzy czujniki przemieszczeń, rozmieszczone w narożach ramy oraz cztery czujniki przyspieszeń. Dwa z nich służyły do pomiaru przyspieszeń w kierunku pionowym nadwozia pojazdu oraz górnej ramy. Pozostałe zostały użyte do pomiaru przyspieszeń nadwozia w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do kierunku ruchu. Dodatkowo, w celu uzyskania informacji o prędkości pojazdu zastosowano, niezależny od znajdującego się w pojeździe, przetwornik prędkości i drogi DATRON V1/V2. Mierzone sygnały z poszczególnych torów pomiarowych rejestrowane były na komputerze pomiarowym.

### 3. Wyniki badań eksperymentalnych

Celem przeprowadzenia badań eksperymentalnych było:

- zgromadzenie materiału potrzebnego do weryfikacji opracowanego modelu pojazdu,
- dokonanie oceny jakościowej i ilościowej drgań pionowych nadwozia pojazdu oraz dodatkowego układu wibroizolacji.

Badania eksperymentalne zrealizowano w dwóch etapach:

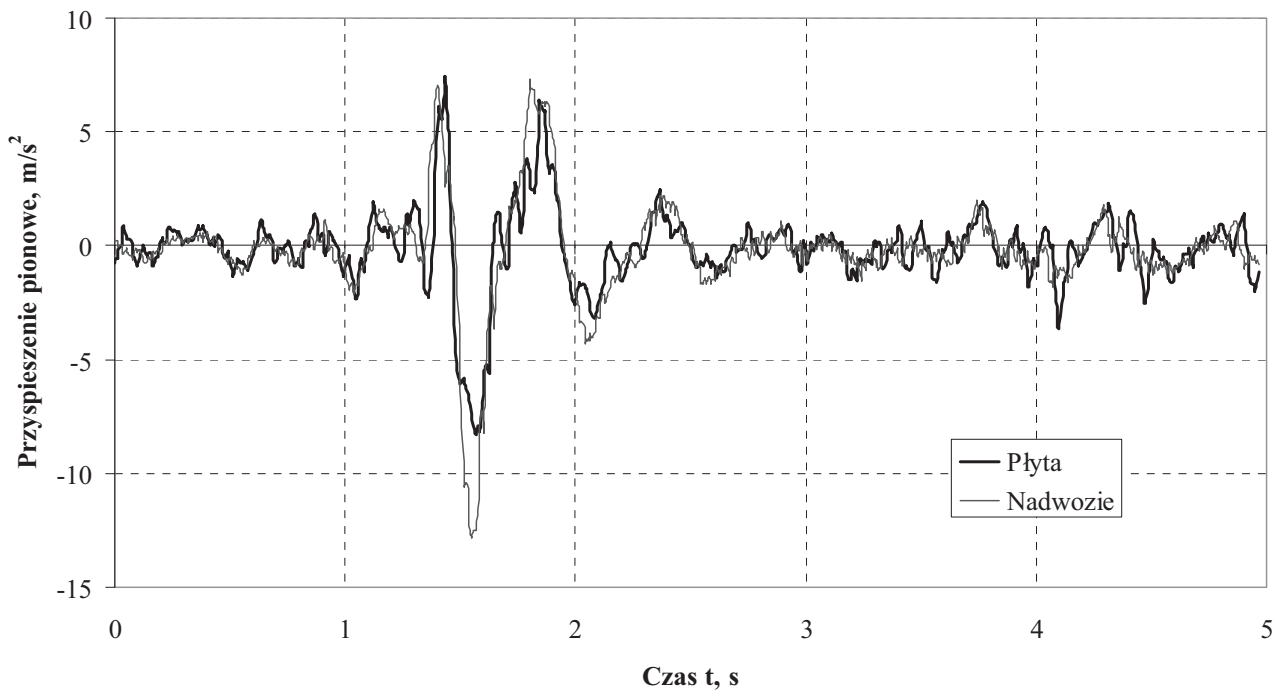
- pomiar drgań pojazdu wywołanych wymuszeniem deterministycznym,
- pomiar drgań pojazdu wywołanych wymuszeniem losowym.

Badania w warunkach działania wymuszeń deterministycznych zrealizowano przy użyciu dwóch przeszkód o znanym zarysie rozmieszczonych symetrycznie pod kołami pojazdu (rys. 3) na drodze asfaltowej o dobrym stanie nawierzchni. Wykonano pomiary przy pięciu prędkościach najazdu: od 10 - 50 km/h, co 10 km/h. W celu zapewnienia wiarygodności pomiarów, dla każdego przypadku wykonywano trzykrotne powtórzenia. Pozwoliło to na wyeliminowanie wyników znacznie odbiegających od pozostałych, lub otrzymanych w sytuacji niezachowania warunków pomiarów (np. prędkości przejazdu).

Na rys. 4 przedstawiono przyspieszenia pionowe nadwozia samochodu i dodatkowej ramy w czasie przejazdu przez przeszkodę z prędkością 30 km/h. Na rysunku tym można zaobserwować korzyści płynące z zastosowania dodatkowego układu izolacji drgań. Maksymalna wartość przyspieszeń w kierunku pionowym zmniejszyła się o około 35%.



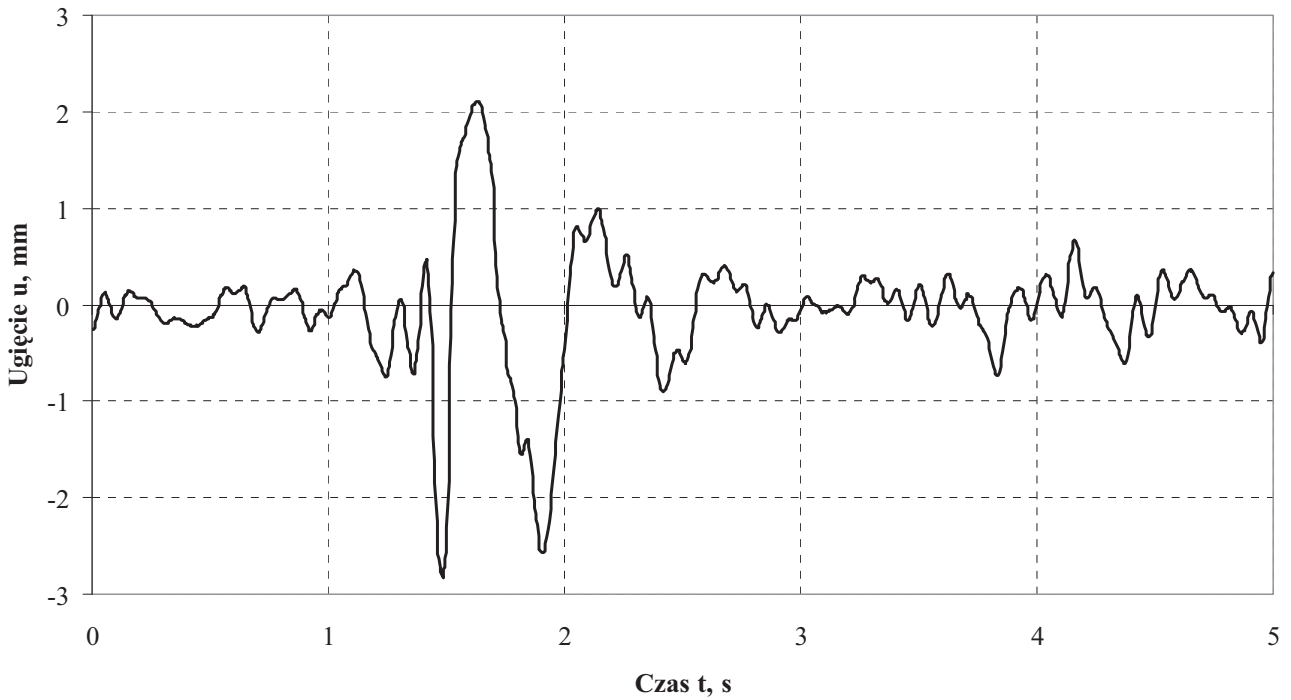
Rys. 3. Widok przeszkody  
Fig. 3. The view of roadblocks



Rys. 4. Przyspieszenia pionowe – 30 km/h  
Fig. 4. Vertical acceleration – 30 km/h

Na rys. 5 przedstawiono ugięcia środka masy dodatkowego układu względem odpowiadającego mu punktu nadwozia, otrzymane dla powyższych warunków ruchu pojazdu. Maksymalne ugięcia osiągają wartość około 3 mm.

W tabeli 1 zestawiono maksymalne wartości przyspieszeń pionowych nadwozia i płyty, otrzymane w wyniku przejazdu przez przeszkodę. Analizując przedstawione wyniki można stwierdzić, że w zakresie niewielkich prędkości (10 km/h), wpływ dodatkowego układu wibroizolacji jest niewielki. Istotne różnice można zaobserwować dopiero przy prędkościach powyżej 20 km/h. Maksymalne przyspieszenia pionowe zarejestrowane na płycie są o około 30 - 40 % mniejsze niż na podłodze skrzyni ładunkowej samochodu.



Rys. 5. Przesunięcie płyty względem nadwozia – 30 km/h  
 Fig. 5. Displacement of plate towards a car body – 30 km/h

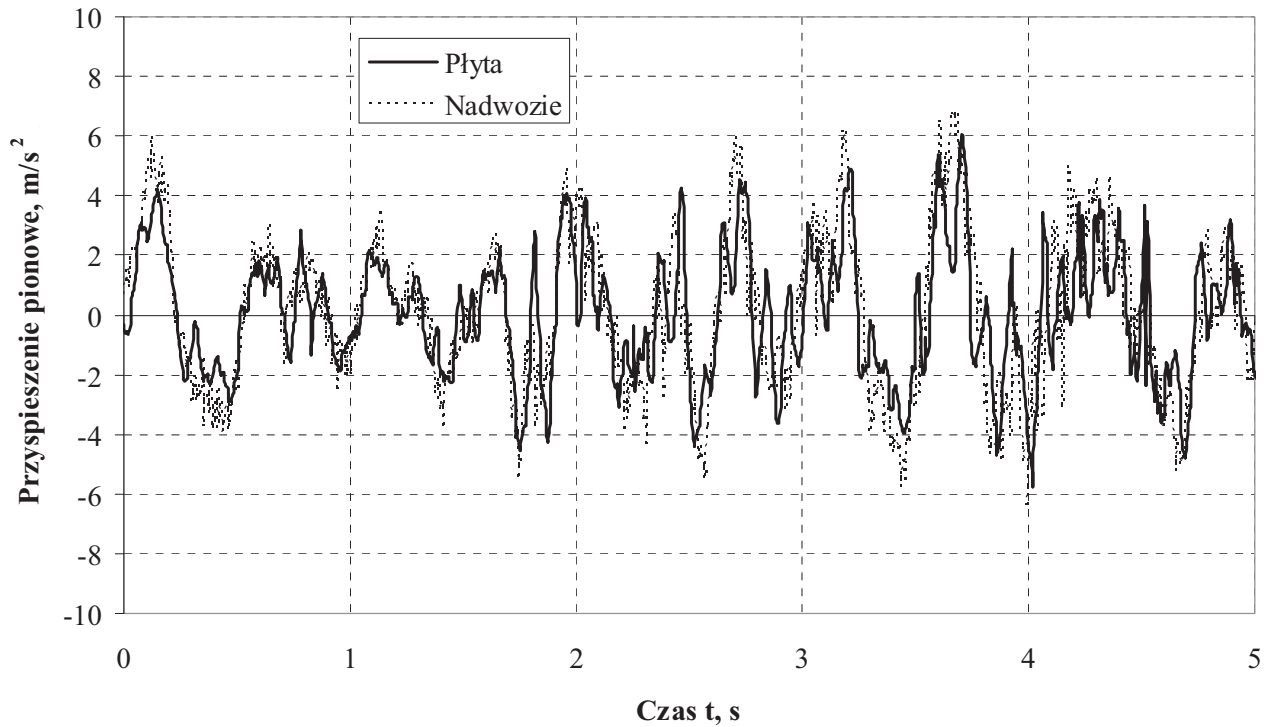
Tab. 1. Maksymalne wartości przyspieszeń w kierunku pionowym  
 Tab. 1. The maximum values of vertical accelerations

Prędkość [km/h]	Przyspieszenie pionowe [m/s <sup>2</sup> ]			
	minimalne		maksymalne	
	Nadwozie	Płyta	Nadwozie	Płyta
10	6,7	6,6	6,5	6,4
20	10,7	7,1	8,2	6,8
30	12,7	7,9	7,1	7,5
40	13,6	8,7	11,2	9,2
50	13,8	9,3	14,6	10,4

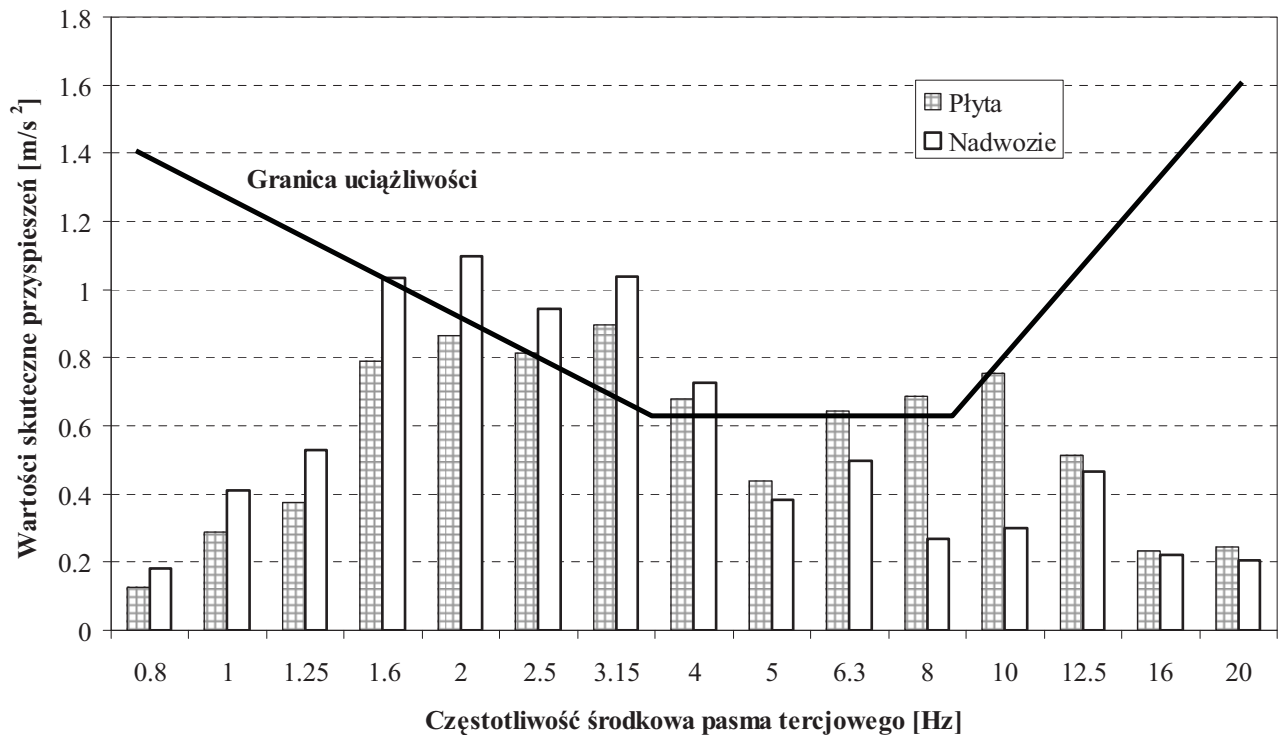
Drugim obszarem były badania drgań pojazdu w warunkach działania wymuszeń o charakterze losowym. Zrealizowano je poprzez przejazd samochodu po drodze o nawierzchni asfaltowej, brukowanej oraz drodze nieutwardzonej. Ze względu na brak charakterystyk tych dróg, stan ich nawierzchni oceniono subiektywnie jako: asfaltowa średnia, brukowana zła i terenowa średnia.

Na rys. 5 przedstawiono przykładowe przebiegi przyspieszeń pionowych płyty i nadwozia zarejestrowane w czasie przejazdu po drodze nieutwardzonej o średnim stanie nawierzchni z prędkością 20 km/h. Odchylenia standardowe tych przyspieszeń wynoszą odpowiednio: 2,08 m/s<sup>2</sup> dla płyty i 2,43 m/s<sup>2</sup> dla nadwozia.

W celu określenia wpływu dodatkowego układu na komfort jazdy, przeprowadzono zgodnie z normą ([3], [4]) analizę przekroczenia granicy uciążliwości w poszczególnych pasmach tercjowych. Na rys. 7 przedstawiono wartości skuteczne przyspieszeń w poszczególnych pasmach dla opisanego powyżej przypadku ruchu. Granica uciążliwości została przekroczona w obu przypadkach, jednakże dla dodatkowego układu izolacji drgań, dopuszczalny czas pracy wydłużył się z 54 do 73 minut.

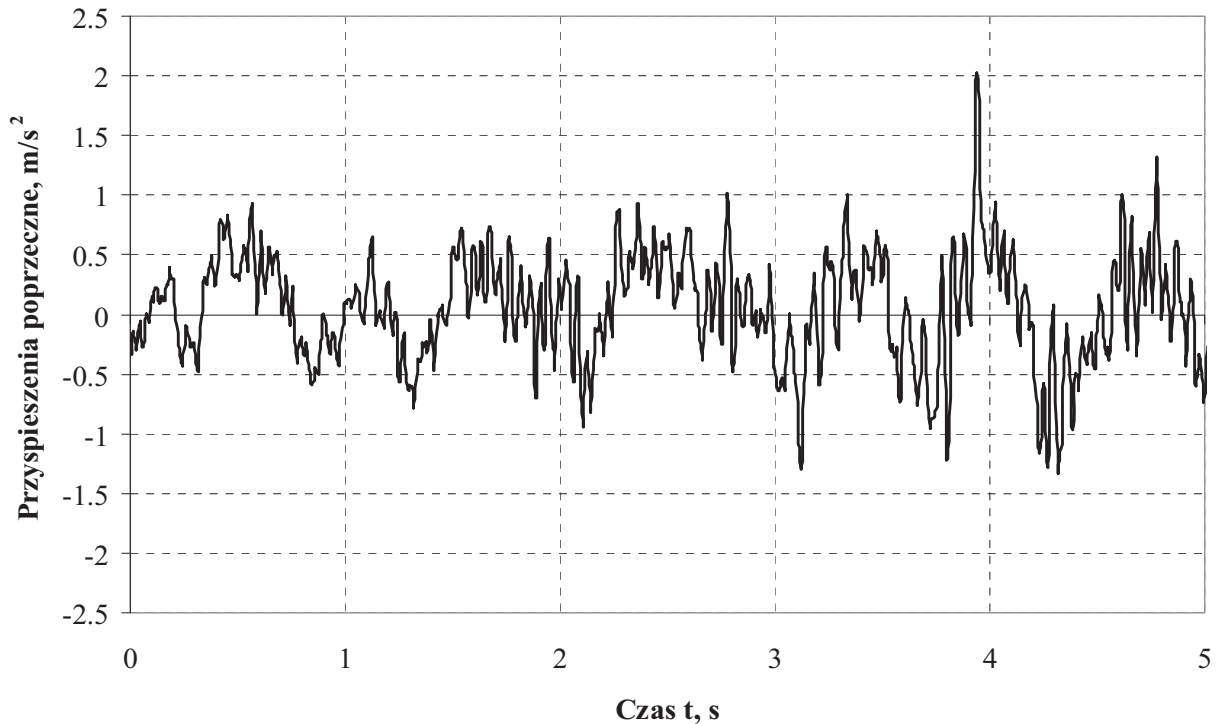


Rys. 6. Przyspieszenia pionowe – droga nieutwardzona, 20 km/h  
 Fig. 6. Vertical accelerations – unpaved road, 20 km/h



Rys. 7. Wartości skuteczne przyspieszeń pionowych – droga nieutwardzona, prędkość 20 km/h  
 Fig. 7. RMS of vertical accelerations – unpaved road, 20 km/h

Na rys. 8 przedstawiono przebieg przyspieszeń nadwozia w kierunku poprzecznym do jego osi wzdłużnej. Wartości tych przyspieszeń osiągają kilkukrotnie mniejsze wartości niż przyspieszenia w kierunku pionowym, a ich odchylenie standardowe wynosi  $0,44 \text{ m/s}^2$ . Dla zaprezentowanego przykładu nie została przekroczona granica uciążliwości (wg. [4]), a w większości pasm wartości skuteczne przyspieszeń nie przekraczały również granicy komfortu.



Rys. 8. Przyspieszenia w kierunku poprzecznym – droga nieutwardzona, prędkość 20km/h  
 Fig. 8. Transverse accelerations – unpaved road, 20 km/h

W tabeli 2 przedstawiono odchylenia standardowe przyspieszeń drgań w kierunku pionowym dla badanych rodzajów nawierzchni i prędkości przejazdów. W zależności od warunków ruchu, odchylenia standardowe przyspieszeń płyty są mniejsze od odchyleń standardowych przyspieszeń nadwozia od 5 - 15 %.

Tab. 2. Odchylenia standardowe przyspieszeń pionowych  
 Tab. 2. Standard deviation of vertical accelerations

Rodzaj nawierzchni	Prędkość pojazdu [km/h]	Odchylenia standardowe przyspieszeń pionowych [m/s <sup>2</sup> ]		$\sigma_1/\sigma_2$
		płyta - $\sigma_1$	nadwozie - $\sigma_2$	
Asfalt	20	0,87	0,92	<b>0,95</b>
	30	1,09	1,24	<b>0,88</b>
	40	1,25	1,41	<b>0,89</b>
	50	1,36	1,57	<b>0,87</b>
Bruk	20	1,62	1,74	<b>0,93</b>
	30	2,06	2,41	<b>0,85</b>
Droga nieutwardzona	10	1,39	1,88	<b>0,74</b>
	20	2,08	2,43	<b>0,86</b>
	30	2,82	3,32	<b>0,85</b>

#### 4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przyspieszeń pojazdu wraz z dodatkowym układem izolacji drgań. Wykonano badania w warunkach działania zarówno wymuszeń deterministycznych jak i wymuszeń o charakterze losowym. Zastosowanie wymuszeń

deterministycznych podyktowane było ich szczególną przydatnością w dalszych badaniach weryfikacyjnych opracowanego modelu matematycznego pojazdu.

Dla obu typów wymuszeń zaobserwowano zmniejszenie poziomu obciążeń dynamicznych działających na potencjalnego pasażera, przewożonego na dodatkowym układzie izolacji drgań. Dla wymuszeń deterministycznych maksymalne wartości przyspieszeń w kierunku pionowym zmniejszyły się o 30 - 40%. W przypadku wymuszeń o charakterze losowym do oceny poziomu obciążeń dynamicznych posłużono się wartościami odchyłeń standardowych przyspieszeń, a także krotnościami przekroczenia granicy uciążliwości (KGU) otrzymanymi w wyniku analizy przeprowadzonej zgodnie z normą [4].

Dla badanych typów dróg dominujący wpływ na komfort jazdy miały przyspieszenia w kierunku pionowym. Wartości skuteczne przyspieszeń w kierunku wzdłużnym i poprzecznym osiągały wartości kilkukrotnie mniejsze, a w zdecydowanej większości analizowanych przypadków nie przekraczały one nawet granicy komfortu.

## Literatura

- [1] Borkowski, W., Sokalski, L., Muszyński, A., Hryciów, Z., *Analiza numeryczna komfortu jazdy osób niepełnosprawnych przewożonych samochodem*, Materiały Międzynarodowej Konferencji Motoryzacyjnej AUTOPROGRES-KONMOT, Pasym, 2002.
- [2] Muszyński, A. Et al., *System bezpiecznego przewozu osób niepełnosprawnych środkami transportu drogowego*, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego 9 T12C 031 17, Warszawa, 2002, niepublikowane.
- [3] ISO 2631/1 *Evaluation of human exposure to whole-body vibration – General requirements*.
- [4] PN-91/S-04100 *Drgania – Metody badań i oceny drgań mechanicznych na stanowiskach pracy w pojazdach*.