

## STANOWISKO EDUKACYJNE DO PREZENTACJI ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ DRGAŃ W ORGANIZMIE SIEDZĄCEGO CZŁOWIEKA (KIEROWCY)

### EDUCATIONAL STAND FOR PRESENTATION OF THE VIBRATION PROPAGATION IN THE SITTING HUMAN (VEHICLE DRIVER) BODY

**Andrzej Zuska**

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach  
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn  
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu  
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
25-314 Kielce  
e-mail: a.zuska@tu.kielce.pl

**Abstract:** The paper presents characteristics of the didactic stand for presentation of the vibration propagation in the body of a driver or a passenger of a motor vehicle. The didactic stand was built on the basis of an MTS electrohydraulic pulsator and anthropodynamic dummy in the Laboratory of Automobiles and Tractors of Kielce University of Technology. The structure and characteristics of each element of didactic stand are described. The possibilities of didactic stand were presented.

**Keywords:** vibration comfort, vibrations.

#### Wprowadzenie

Zapewnienie niezbędnego komfortu jazdy to jedno z ważniejszych zadań stawianych konstruktorom współcześnie produkowanych pojazdów samochodowych oraz maszyn roboczych.

Pojęcie komfortu obejmuje zapewnienie odpowiednich warunków wibracyjnych, klimatycznych, akustycznych, ergonomicznych itp. Mówiąc o komforcie w odniesieniu do zjawisk o charakterze wibracji należy mieć na myśli komfort wibracyjny, który zależy od poziomu drgań oddziałujących na kierowcę bądź pasażera.

Zbyt intensywne drgania powodują poczucie dyskomfortu kierowcy i pasażerów. Jeżeli kierowca poddawany jest ich intensywnemu działaniu przez dłuższy czas, wówczas powoduje to obniżenie jego zdolności koncentracji, a to z kolei może skutkować pogorszeniem bezpieczeństwa. Kierowca stwarza wówczas zwiększone zagrożenie nie tylko dla samego siebie, ale również dla innych osób w jego otoczeniu. Skrajnym przykładem negatywnego wpływu drgań na człowieka jest pogorszenie stanu zdrowia np. choroba wibracyjna.

Pojazd samochodowy, aby mógł spełniać wymagania komfortu wibracyjnego powinien być wyposażony w odpowiednio dobrane zawieszenie nadwozia, kabiny i fotela. Fotel powinien posiadać możliwość jego dopasowania do indywidualnych cech kierowcy. Zadanie to utrudniają różnice indywidualnych cech dynamicznych i antropometrycznych kierowców (pasażerów). Pod pojęciem cech antropometrycznych należy rozumieć między

innymi wzrost, wagę oraz mierzalne cechy anatomii ludzkiego tułowia, które w szczególności wyróżnia układ kręgosłupa itp.

Układ sprężysto-tłumiący fotela samochodowego powinien posiadać charakterystykę dopasowaną do układu resorowania pojazdu i kabiny oraz uwzględniać parametry charakteryzujące własności dynamiczne siedzącego człowieka (kierowcy lub pasażera pojazdu samochodowego).

Celem zobrazowania wpływu parametrów układu sprężysto-tłumiącego siedziska na komfort podróżowania oraz na rozprzestrzenianie się drgań w organizmie kierowcy lub pasażera pojazdów samochodowych zbudowano stanowisko do prezentacji rozprzestrzeniania się pionowych drgań w organizmie siedzącego człowieka [1, 2, 3, 4].

#### Charakterystyka stanowiska dydaktycznego

Stanowisko dydaktyczne do edukacyjnej prezentacji rozprzestrzeniania się drgań w układzie fotel samochodowy - kierowca zostało zbudowane na bazie manekina antropodynamicznego oraz wzbudnika elektrohydraulicznego firmy MTS i obejmuje kilka współpracujących ze sobą układów i zespołów. Są to:

- układ fotel samochodowy - manekin antropodynamiczny,
- zespół pulsatora elektrohydraulicznego,
- zespół zasilania hydraulicznego,
- układ sterowania,

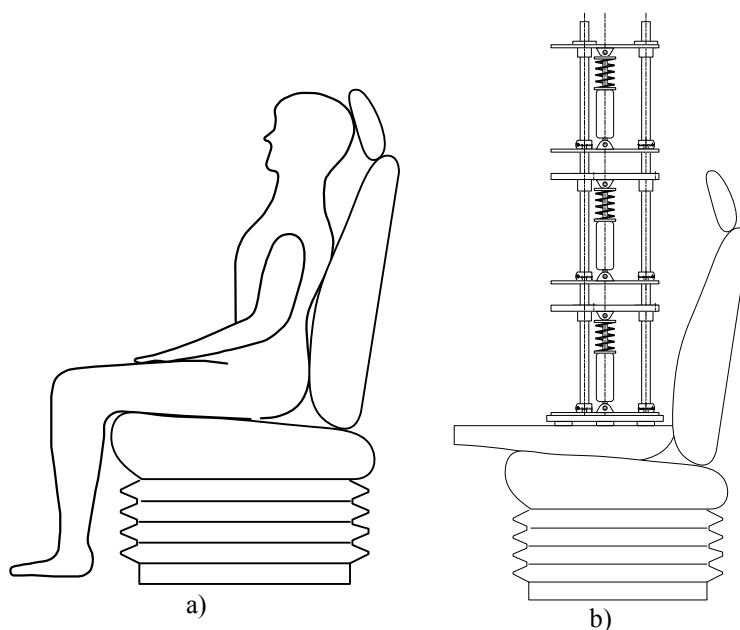
- układ pomiarowy.

### Układ fotel samochodowy – manekin antropodynamiczny

W prezentowanym stanowisku dydaktycznym układ fotel – kierowca (pasażer) (rys. 1a) zastąpiono układem fotel – manekin antropodynamiczny siedzącego czło-

wieka (rys. 1b, rys. 2). Układ ten odwzorowuje rozprzestrzenianie się pionowych drgań do trzech wyodrębnionych obszarów ciała siedzącego człowieka (kierowcy, pasażera pojazdu samochodowego).

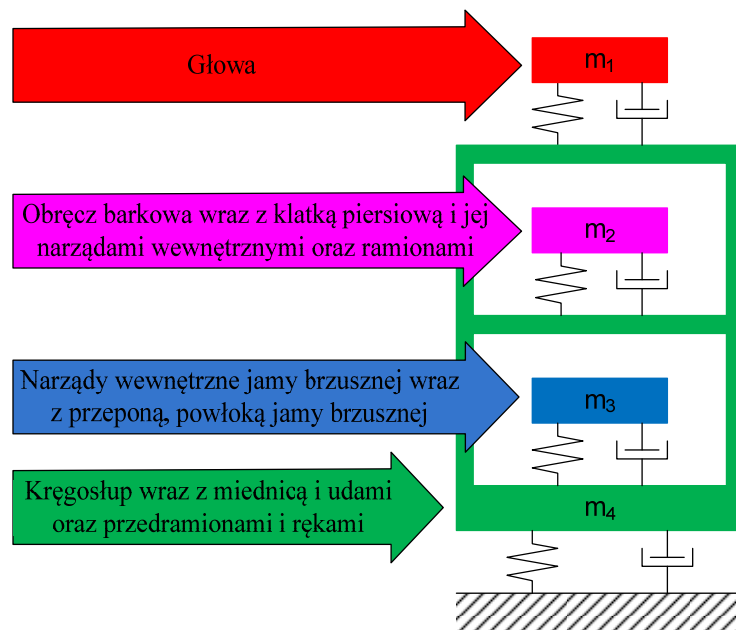
Struktura, modelu manekina antropodynamicznego o czterech stopniach swobody odpowiadającego układowi człowiek – fotel przedstawiona została na rysunku 3.



Rys. 1. Schemat układu: a) fotel – kierowca; b) fotel - manekin antropodynamiczny.



Rys. 2. Widok układu fotel - manekin antropodynamiczny.



Rys. 3. Struktura modelu czteromasowego manekina antropodynamicznego.

W modelu antropodynamicznym za pomocą czterech mas odwzorowano cztery wyodrębnione obszary ciała człowieka:

- masa  $m_1$  odpowiada masie głowy,
- masa  $m_2$  odpowiada masie obręczy barkowej wraz z klatką piersiową i jej narządami wewnętrznymi oraz ramionami,
- masa  $m_3$  odpowiada masie narządów wewnętrznych jamy brzusznej wraz z przeponą i powłoką jamy brzusznej,
- masa  $m_4$  odpowiada masie kręgosłupa wraz z miednicą i udami oraz przedramionami i rękami.

W modelu pominięto obszar spoczywający na podłodze. Podstawę manekina, odwzorowującą kształt pośladków wykonano z żywicy epoksydowej.

Szkielet manekina, który składa się z: przewodnic, nieruchomych dysków, ruchomych dysków, zacisków oraz łożysk liniowych przymocowano do jego podstawy, w której wykonano sześć równomiernie rozłożonych gniazd. W gniazdach osadzono sprężysto - tłumiące elementy gumowe, a całość umieszczono na podstawie manekina antropodynamicznego.

Prowadnice wykonano z metalowych precyzyjnie wykonanych wałków. Precyzyjne położenie przewodnic

zapewniają nieruchome metalowe dyski, do których prowadnice są mocowane aluminiowymi zaciskami. Po prowadnicach poruszają się trzy dyski odwzorowujące odpowiednio masę: głowy, klatki piersiowej oraz brzucha [5, 6, 7, 8, 9, 10].

### Zespół pulsatora elektrohydraulicznego firmy MTS – Model 244.12

Zadaniem pulsatora elektrohydraulicznego jest realizacja wymuszenia ruchu fotela kierowcy. Pulsator (rys. 4) zamocowano na spoczywającej na elementach gumowych płycie technologicznej pełniącej rolę podstawy stanowiska. Wzbudnik wyposażony jest w czujnik przemieszczenia oraz siły, który umieszczono pomiędzy siedziskiem a tłoczyskiem pulsatora. Sygnały z tych czujników są przekazywane do układu sterowania.

Parametry pulsatora elektrohydraulicznego firmy MTS – Model 244.12:

- siła maksymalna 25 kN,
- skok tłoczyska 150 mm (+/- 75mm).



Rys. 4. Widok pulsatora elektrohydraulicznego wraz z układem fotel samochodowy – manekin antropodynamiczny.

### Zespół zasilania hydraulicznego

Hydrauliczny układ zasilania (Model Silent flow 505.20) (tabela 1) ma za zadanie dostarczać do elektrohydraulicznego pulsatora olej pod określonym ciśnieniem. Sterownie zespołem zasilania może być prowadzone

lokalnie z panelu kontrolno-sterowniczego lub zdalnie za pomocą układu sterowania.

Układ jest chłodzony wodą, przy czym zapotrzebowanie wymiennika ciepła na wodę wynosi na przykład przy temperaturze otoczenia 15.5 °C - 23.4 l/min, zaś przy temperaturze 32 °C – 60.9 l/min.

Tabela. 1. Parametry zespołu zasilania hydraulicznego Model Silent flow 505.20.

Parametr	Wartość
Ciśnienie układu zasilania, MPa	21
Wydajność układu zasilania, l/min	63
Pobór mocy, kW	30
Napięcie zasilające, V AC	200 –575
Pojemność zbiornika oleju hydraulicznego, l	341
Masa układu z olejem hydraulicznym, kg	817
Wymiary zewnętrzne wys. x szer. x dł., cm	137 x 86,4 x 157,5

### Układ sterowania

Cyfrowy wielokanałowy układ sterowania Flex Test 60 wraz z komputerem typu PC (rys. 5) steruje pulsatorem, zapewniając generowanie przebiegów w postaci: sinusoidalnej, prostokątnej lub trójkątnej w zakresie często-

tliwości od 0.001 do 600 Hz. Ponadto umożliwia generowanie sygnału narastającego, losowego oraz sygnału sinusoidalnego o zmiennej częstotliwości. Oprogramowanie ułatwia konfigurację układu sterowania oraz umożliwia pomiar siły i przemieszczenia.



Rys. 5. Widok elementów układu sterowania wraz z komputerem do jego obsługi.

### Układ pomiarowy

Wielkościami mierzonymi podczas badań są przyspieszenia siedziska fotela oraz trzech wyodrębnionych obszarów (mas) manekina.

Na układ pomiarowy składają się:

- zestaw czterech trójkierunkowych czujników przyspieszeń (model: 356B4) wraz z dyskami pomiarowymi,
- szesnastokanałowy układ kondycjonowania *IEPE (ICP®)*,
- karta analogowo cyfrowa,
- komputer PC z kartą pomiarową,

- program do akwizycji danych.

Do pomiaru przyspieszeń górnej powierzchni siedziska wykorzystano czujnik (tabela 2) zabudowany w dysku. Pozostałe trzy czujniki zamocowane są do wyodrębnionych obszarów (mas) manekina antropodynamicznego, które odwzorowują odpowiednio (masę głowy, masę obręczy barkowej wraz z klatką piersiową i jej narządami wewnętrznymi oraz ramionami, masę narządów wewnętrznych jamy brzusznej wraz z przeponą i powłoką jamy brzusznej, masę kręgosłupa wraz z miednicą i udami oraz przedramionami i rękami).

Tabela. 2. Podstawowe parametry czujników przyspieszeń.

Parametr	Wartość
Zakres pomiarowy, g pk	$\pm 10$
Rozdzielczość szerokopasmowa, g rms	0,0002
Nieliniowość, %	$\leq 1$
Zakres temperatury pracy, °C	-10÷50
Zakres częstotliwości ( $\pm 5\%$ ), Hz	0,5 to 1000
Częstotliwość rezonansowa, kHz	$\geq 27$
Masa czujnika, g	$\leq 280$

Układ kondycjonowania *IEPE (ICP®)* (tabela 3) współpracuje z komputerem, który jest wyposażony w kartę analogowo - cyfrową. Oprogramowanie do

akwizycji danych pozwala na jednoczesny pomiar przyspieszenia w 16 kanałach.

Tabela. 3. Podstawowe parametry układu kondycjonowania.

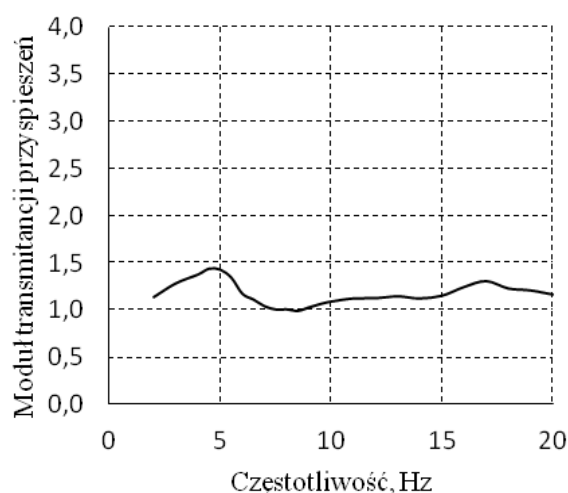
Parametr	Wartość
Impedancja wejściowa, kOhm	100
Impedancja wyjścia, Ohm	120
Wzmocnienie, dB	$\times 1, \times 10, \times 100$ (0, 20, 40)
Zakres napięcia wyjściowego	max 20Vpp
Filtry, dB/oct	12, włączane dla każdego kanału
Filtry HP, Hz	10
Filtry LP, kHz	1
Zakres temperatury pracy, °C	0÷50
Masa, g	850
Wymiary, mm	160×150×90 (dł×szer×wys)

### Podsumowanie

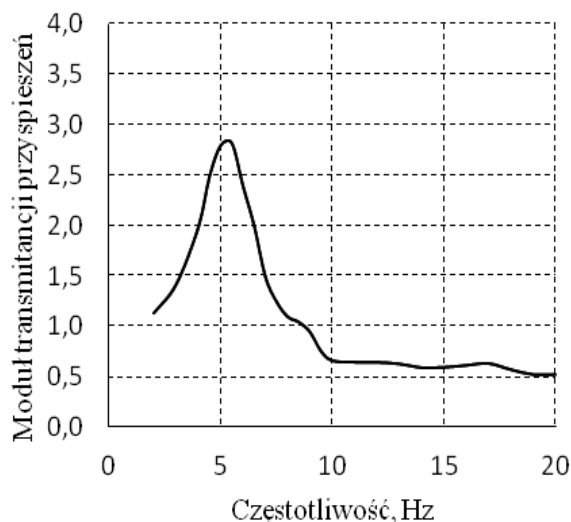
Stanowisko do edukacyjnej prezentacji rozprzestrzeniania się drgań w organizmie siedzącego człowieka (kierowcy) umożliwia wyznaczenie charakterystyk układu fotel – kierowca (pasażer).

W trakcie przeprowadzanych symulacji drgań oddziaływujących na fotel samochodowy wielkościami mierzonymi są przyspieszenia trzech ruchomych dysków (mas) manekina oraz przyspieszenia siedziska fotela, na którym umieszczony jest manekin. Wykorzystując program komputerowy dla każdego z zarejestrowanych

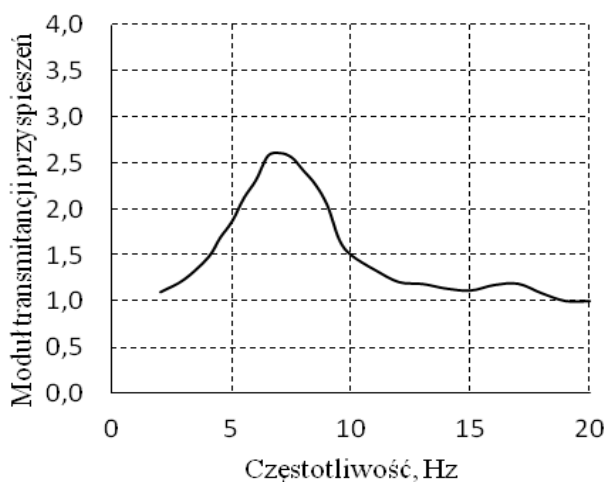
sygnałów przyspieszeń wyznaczone są charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe, które z kolei służą do wyznaczenia transmitancji przyspieszeń dla trzech układów wejście – wyjście: siedzisko – masa  $m_1$  (rys. 6), siedzisko – masa  $m_2$  (rys. 7), siedzisko – masa  $m_3$  (rys. 8). Przebiegi funkcji transmitancji przyspieszeń, obrazują rozprzestrzenianie się pionowych drgań w układzie fotel – kierowca (pasażer) umożliwiając między innymi zobrazowanie przedziałów występowania częstotliwości rezonansowych oraz występujących w tych przedziałach wzmocnień przyspieszeń.



Rys. 6. Transmitancja: głowa – siedzisko fotela samochodowego.



Rys. 7. Transmitancja: klatka piersiowa – siedzisko fotela samochodowego.



Rys. 8. Transmitancja: brzuch - siedzisko fotela samochodowego.

Odpowiednie zestawy obciążników, tłumików, sprężyn oraz elementów gumowych umożliwiają odwzorowanie przez manekina antropodynamicznego pionowej dynamiki osób o różnej budowie ciała. Symulacje prowadzone z wykorzystaniem tak skonstruowanego stanowiska pozwalają zobrazować związek między drganiami podłogi samochodu a wybranymi obszarami ciała człowieka o różnej masie jak również przyjmującego różne postawy (postawa siedząca z oparciem,

postawa siedząca bez oparcia). Dodatkowe możliwości dydaktyczne daje zawieszenie fotela, które posiada możliwość płynnej regulacji współczynnika tłumienia i sztywności.

Zaprezentowane stanowisko dydaktyczne umożliwia udzielenie wielu odpowiedzi na nasuwające się pytania dotyczące między innymi mechanizmu oddziaływania drgań na organizm siedzącego człowieka (kierowcy).

### Bibliografia

1. Stańczyk, T.L., Łomako, D., Symulacyjna analiza drgań układu pojazd – kierowca, *Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji*, PAN Oddz. w Krakowie, Zeszyt 12, Kraków, 1997, s. 159-164.
2. Łomako, D., Stańczyk, T.L., Wyřebkiewicz, A., Zagadnienie komfortu jazdy w samochodach z pasywnym zawieszeniem fotela kierowcy, *Materiały VI Międzynarodowej Konferencji N-T Pojazdy Samochodowe - Problemy Rozwoju, Jakości, Eksploatacji*, AUTOPROGRES'98 Jachranka k/Warszawy, 1998, s. 150-159.

3. Stańczyk, T.L., Łomako, D., Analiza komfortu jazdy z wykorzystaniem dynamicznego modelu ciała człowieka, *Teka Komisji Naukowo - Problemowej Motoryzacji*, PAN, Oddz. w Krakowie, Zeszyt 21, Kraków, 2000, s. 121-132.
4. Knoblauch, J., Wölfel, H.P., Buck, B., Ein Schwingungsdummy des sitzenden Menschen, *ATZ*, 97, 10, 1995, s. 668–671.
5. Mansfield, N.J., Griffin, M.J., Vehicle seat dynamics measured with an anthropodynamic dummy and human subjects, *Proceedings of Internoise 96*, Liverpool UK, 1996, pp. 1725–1730.
6. Mitschke, M., Klinger, B., Schwingungskomfort im Kraftfahrzeug, *ATZ*, 100, 1998, s. 18-24.
7. Zuska, A., Stańczyk, T.L., Analysis of the impact of selected anthropometric parameters on the propagation of vertical vibration in the body of a seated person (driver), *JVE Journal of Vibroengineering*, Vol. 17, I. 7, 2015, pp. 3936-3948.
8. Zuska, A., Stańczyk, T.L., Application of anthropodynamic dummies for evaluating the impact of vehicle seat vibrations upon human body, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 53, 4, 2015, pp. 1029-1039.
9. Zuska, A., Stańczyk, T.L., Przegląd antropodynamicznych modeli siedzącego człowieka pod kątem wykorzystania ich do badań komfortu wibracyjnego kierowcy, *Logistyka*, 3, 2014, s. 7109-7122.
10. Zuska, A., Stańczyk, T.L., Przegląd manekinów antropodynamicznych wykorzystywanych do oceny oddziaływania drgań na siedzącego człowieka (kierowcę), *Archiwum Motoryzacji*, Vol. 63, nr 3, 2014, s. 143-152.