

PIOTR KOWALSKI, JACEK ZAJĄC\*

## ZAGROŻENIE DRGANIAMI MECHANICZNYMI DZIAŁAJĄCYMI W SPOSÓB OGÓLNY NA KIEROWCÓW I OPERATORÓW ŚRODKÓW TRANSPORTU WEWNĄTRZZAKŁADOWEGO

### WHOLE-BODY VIBRATION HAZARD AT THE WORKSTATION IN IN-HOUSE TRANSPORT

#### Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań drgań działających w sposób ogólny na 10 stanowiskach pracy kierowców i operatorów środków transportu wewnątrzzakładowego. Na podstawie zarejestrowanych sygnałów przyspieszeń drgań określono wartości wielkości charakteryzujące drgania na stanowiskach pracy. Do oceny redukcji drgań przez siedziska w badanych środkach transportu wewnątrzzakładowego wykorzystano charakterystyki oraz współczynniki przenoszenia drgań. Zadawalające zmniejszenie drgań stwierdzono jedynie na 3 badanych siedziskach, w pozostałych przypadkach wystąpiło wzmocnienie drgań.

*Słowa kluczowe: transport wewnątrzzakładowy, drgania ogólne, ocena ekspozycji na drgania, przenoszenie drgań*

#### Abstract

This paper presents the results of whole-body vibration tests at 10 driver-operator workstations in in-house transport. Recorded vibration acceleration signals were used to determine characteristic values of vibrations. The assessment showed that the analysed workstations could be a hazard. Seat vibration damping was evaluated with characteristics and coefficients of transmissibility. Enough vibration reduction was found in 3 seats only; in the other cases, vibration was amplified.

*Keywords: in-house transport, vibration, exposure assessment, vibration transmissibility*

\* Dr inż. Piotr Kowalski, mgr inż. Jacek Zajęc, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych.

## 1. Wstęp

Dynamiczny rozwój gospodarki powoduje gwałtowny wzrost liczby urządzeń stosowanych w transporcie wewnątrzzakładowym, co z kolei przyczynia się do wzrostu liczby pracowników narażonych na drgania wytwarzane przez maszyny i urządzenia transportowe. Ze względu na swoją specyfikę środki transportu wewnątrzzakładowego stanowią niedostatecznie rozpoznaną grupę źródeł drgań mechanicznych. Badania prowadzone przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy mają na celu zidentyfikowanie i ocenę zagrożeń pochodzących od drgań mechanicznych w transporcie wewnątrzzakładowym. W artykule przedstawiono część wyników prowadzonych badań dotyczących działania drgań w sposób ogólny.

## 2. Metodyka

Metodyka badań drgań działających w sposób ogólny jest oparta na rejestracji sygnałów przyspieszeń drgań w trzech kierunkach:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Na podstawie zarejestrowanych sygnałów drgań na każdym stanowisku pracy wyznaczana jest (zgodnie z PN-EN 14253) dzienna ekspozycja  $A(8)$ :

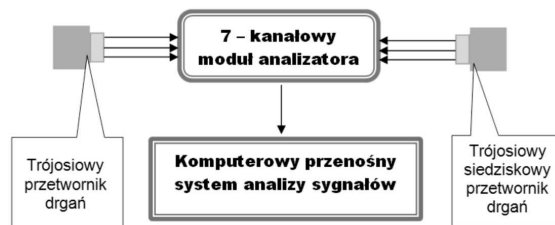
$$A_{WB,l}(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wli}^2 \cdot T_i} \quad (1)$$

gdzie:

- $a_{wli}$  – skorygowana częstotliwościowo skuteczna wartość przyspieszenia drgań określona dla przedziału czasu  $T_i$ ,
- $l$  – kierunek  $x$ ,  $y$  lub  $z$ ,
- $k_x = k_y = 1,4$  dla kierunków  $x$  i  $y$ ;  $k_z = 1$  dla kierunku  $z$ ,
- $T_0$  – czas odniesienia równy 8 h (480 min = 28800 s).

W celu wyznaczania charakterystyk i współczynników przenoszenia drgań przez siedziska badanych środków transportu wewnątrzzakładowego stosowano dodatkowe sygnały przyspieszeń drgań na elementach mocujących siedziska do podłogi pojazdu – sygnały odniesienia. Wartości współczynników przenoszenia drgań  $TR_x$ ,  $TR_y$ ,  $TR_z$  wyznaczano dla przyspieszeń drgań z zakresu częstotliwości 0,25–400 Hz.

Do zapisu i analizy sygnałów wykorzystywano układ pomiarowy oparty na bezpośredniej współpracy piezoelektrycznych przetworników z systemem analizy PULSE (rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu do rejestracji i analizy sygnałów drgań

Fig. 1. Schematic representation of the system for recording and analysing vibration signals

Sygnaly przyspieszeń drgań analizowano w zakresie częstotliwości 0,5–400 Hz z rozdzielczością 0,25 Hz.

Podczas badań zastosowano nieruchomy układ współrzędnych. Rejestracji sygnałów przyspieszeń drgań dokonywano w warunkach typowych dla danego stanowiska pracy (jedynie w kilku przypadkach pojazdy poruszały się bez ładunku). Na każdym siedzisku kierowcy operatora zlokalizowano jeden punkt pomiarowy.

### 3. Wyniki pomiarów i obliczeń

Do badań drgań mechanicznych wybrano 10 obiektów reprezentujących różne typy najczęściej używanych środków transportu wewnątrzzakładowego.

W wyniku analizy zarejestrowanych sygnałów drgań na każdym z badanych stanowisk pracy wyznaczono:

- skorygowane wartości składowych kierunkowych przyspieszeń drgań działających w sposób ogólny:  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ ,
- wartość dziennej ekspozycji na drgania działające w sposób ogólny  $A(8)_{WB}$ .

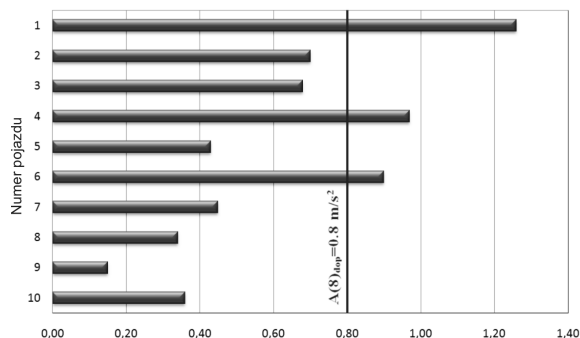
Wartości dziennej ekspozycji odniesiono do dopuszczalnych wartości określonych w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (tab. 1).

Tabela 1

Wartości dopuszczalne NDN dla drgań mechanicznych działających w sposób ogólny

Rodzaj ekspozycji	Wartość dopuszczalna NDN [ $m/s^2$ ]
Dzienna Krótkotrwała ( $t < 30$ min)	$A_{WB}(8)_{dop} = 0,8$ $a_{w,dop,30\ min} = 3,2$

Wartość dziennej ekspozycji na drgania działające w sposób ogólny  $A(8)_{WB}$  oraz wyznaczony na ich podstawie dopuszczalny czas trwania narażenia na 10 badanych stanowiskach pracy zestawiono w tab. 2. Wykres na rys. 2 ilustruje obliczone wartości ekspozycji w odniesieniu do wartości dopuszczalnej.



Rys. 2. Wartości dziennej ekspozycji na drgania działające w sposób ogólny wyznaczone dla 10 stanowisk pracy

Fig. 2. Values of daily exposure to whole-body vibration at 10 workstations

**Dzienna ekspozycja na drgania działające w sposób ogólny oraz dopuszczalny czas narażenia wyznaczone dla badanych środków transportu wewnątrzzakładowego**

Nr pojazdu	Obiekt badań	Dzienna ekspozycja na drgania ogólne (największa składowa kierunkowa) $A_{WB}(8)$ [ $m/s^2$ ]	Dopuszczalny czas trwania narażenia na drgania ogólne $t_{WB}$ [min]
1	Wózek akumulatorowy	$A(8)_Z = 1,26$	76
2	Wózek widłowy	$A(8)_Z = 0,70$	245
3	Wózek podnośnikowy	$A(8)_Z = 0,68$	260
4	Ciągnik	$A(8)_Z = 0,97$	128
5	Ładowarka kołowa	$A(8)_Y = 0,43$	480
6	Koparkoładowarka A	$A(8)_Y = 0,90$	149
7	Koparkoładowarka B	$A(8)_X = 0,45$	480
8	Spycharka gąsienicowa	$A(8)_X = 0,34$	480
9	Suwnica	$A(8)_Z = 0,15$	480
10	Lokomotywa	$A(8)_Z = 0,36$	480

Po analizie przedstawionych zestawień wyników badań można zauważyć, że:

- największa wartość ekspozycji na drgania działające w sposób ogólny wystąpiła dla pojazdu nr 1 ( $A(8)_{WB} = 1,26 m/s^2$ ), najmniejsza zaś dla pojazdu nr 9 ( $A(8)_{WB} = 0,15 m/s^2$ ),
- wartość dopuszczalna ekspozycji na drgania działające w sposób ogólny została przekroczona dla 3 pojazdów (nr 1, 4, 6),
- wyznaczony dopuszczalny czas narażenia na drgania działające w sposób ogólny był najmniejszy dla pojazdu nr 1 i wynosił 76 min/zmianę roboczą; dla 5 pojazdów/urządzeń (nr 5, 7, 8, 9, 10) wynosił 480 min, co zgodnie z obowiązującymi przepisami oznacza możliwość bezpiecznej pracy na tych stanowiskach w ciągu całej zmiany roboczej.

#### 4. Ocena narażenia na drgania mechaniczne na badanych stanowiskach pracy

Do oceny narażenia na drgania działające w sposób ogólny na badanych stanowiskach pracy transportu wewnątrzzakładowego wykorzystano wskaźnik krotności przekroczenia wartości dopuszczalnej dla ekspozycji na drgania:

$$k_{r,WB} = \frac{A(8)_{WB}}{A(8)_{WB,dop}} \quad (2)$$

oraz trójstopniową skalę oceny narażenia na drgania.

W tabeli 3 zestawiono wyniki oceny narażenia przeprowadzonej na podstawie obliczonych wartości wskaźnika  $k_{r,WB}$ , wyznaczonych dla 10 badanych stanowisk pracy.

Tabela 3

Wartości wskaźnika  $k_{r,WB}$  i wynik oceny narażenia na drgania mechaniczne

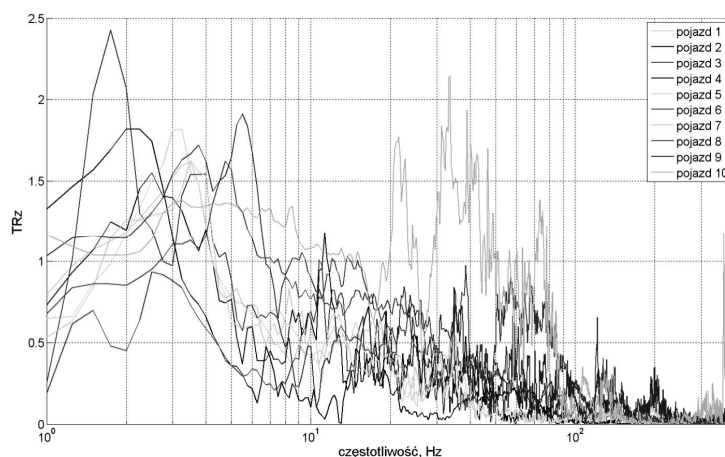
Nr pojazdu	Obiekt badań	$k_{r,WB}$	Narażenie
1	Wózek akumulatorowy	1,58	duże
2	Wózek widłowy	0,88	średnie
3	Wózek podnośnikowy	0,85	średnie
4	Ciągnik	1,21	duże
5	Ładowarka kołowa	0,54	średnie
6	Koparkoładowarka A	1,12	duże
7	Koparkoładowarka B	0,56	średnie
8	Spycharka gąsienicowa	0,42	małe
9	Suwnica	0,18	małe
10	Lokomotywa	0,45	małe

W wyniku przeprowadzonej oceny narażenia na drgania stwierdzono:

- narażenie duże na 3 stanowiskach pracy (nr pojazdu 1, 4, 6),
- narażenie średnie na 4 stanowiskach (nr pojazdu 2, 3, 5, 7),
- narażenie małe na 3 stanowiskach (nr pojazdu 8, 9, 10).

### 5. Ocena redukcji drgań przez siedziska

Redukcję drgań przez siedziska w badanych środkach transportu wewnątrzzakładowego oceniano za pomocą wartości przenoszenia drgań. Wyznaczano je na podstawie sygnałów przyspieszenia drgań na siedzisku obciążonym przez operatora oraz sygnałów odniesienia na elementach mocowania siedziska do podłogi pojazdu.



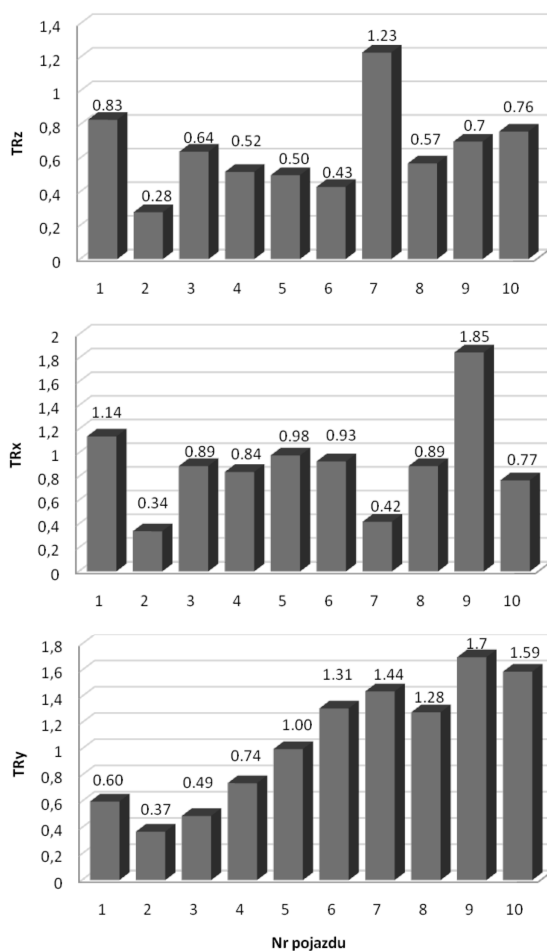
Rys. 3. Charakterystyki częstotliwościowe dla 10 pojazdów w kierunku z

Fig. 3. Frequency characteristics for 10 vehicles in direction z

Oceny dokonano niezależnie dla 3 kierunków nieruchomego układu współrzędnych:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Przykładowe charakterystyki częstotliwościowe przenoszenia drgań uzyskane w kierunku  $z$  dla 10 badanych środków transportu przedstawiono na wykresie powyżej (rys. 3).

Największe różnice wartości przenoszenia drgań przez badane siedziska poszczególnych środków transportu wystąpiły w zakresie niskich częstotliwości (1–10 Hz); drgania z tego zakresu są najbardziej niebezpieczne dla zdrowia pracowników. Dla 9 z 10 badanych siedzisk zaobserwowano bardzo niekorzystne zjawisko wzmacniania drgań, tylko siedzisko pojazdu nr 3 nie wzmacniało drgań.

Na rysunku 4 przedstawiono wartości współczynników przenoszenia drgań  $TR_x$ ,  $TR_y$ ,  $TR_z$  wyznaczonych dla całego badanego zakresu częstotliwości (0,5–400 Hz).



Rys. 4. Wartości przenoszenia drgań przez siedziska w kierunkach:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  wyznaczone dla 10 stanowisk pracy

Fig. 4. Transmissibility of vibrations in three directions:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  at 10 workstations

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń stwierdzono, że:

- największa wartość przenoszenia drgań wystąpiła dla siedziska pojazdu nr 9 w kierunku  $x$  (1,85 – prawie dwukrotne wzmocnienie drgań), najmniejsza dla siedziska pojazdu nr 2 w kierunku  $z$  (0,28 – blisko czterokrotna redukcja drgań),
- wartość przenoszenia drgań była większa bądź równa 1 dla 7 pojazdów (nr 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10), co oznacza wzmocnienie drgań,
- w przypadku pojazdów 8, 9, 10, dla których narażenie na drgania oceniono jako małe, wartości przenoszenia drgań przez siedziska wykazały wzmocnienie drgań, zaś dla pojazdów z wynikiem średniego narażenia na drgania (2, 3, 5) odnotowano wartości przenoszenia mniejsze bądź równe 1,
- pojazd 4, który osiągnął drugą co do wielkości wartość wskaźnika narażenia na drgania ( $k_{r, WB} = 1,21$ ) wykazał zadowalającą skuteczność siedziska.

## 6. Wnioski

Przeprowadzona ocena narażenia na drgania działające w sposób ogólny wykazała, że badane stanowiska pracy mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia pracowników. Tylko na 4 stanowiskach oceniane narażenie było małe.

Charakterystyki oraz wartości współczynników przenoszenia drgań przez siedziska badanych środków transportu pokazały, że zadowalające zmniejszenie drgań jest osiągnięte jedynie na 3 badanych siedziskach, w pozostałych przypadkach stwierdzono wzmocnienie drgań. Świadczy to o małej skuteczności redukcji drgań przez oceniane siedziska lub niewłaściwy ich dobór. Jednak siedziska z najprostszym nawet układem redukcji drgań, mimo efektu wzmocnienia w pewnych zakresach częstotliwości, osiągały mniejsze wartości przenoszenia drgań niż te, które nie miały żadnych zabezpieczeń antywi-bracyjnych.

Wzmocnienie drgań przez siedziska może okazać się szczególnie niebezpieczne na stanowiskach pracy, na których stwierdzono duże narażenie na drgania (pojazdy nr 1 i 6). W niektórych zaś przypadkach (np. w pojeździe 4), redukcja drgań przez siedzisko (nawet gdy nie wystąpił efekt wzmocnienia) okazała się niewystarczająca do zapewnienia operatorowi bezpiecznych warunków pracy ze względu na drgania działające w sposób ogólny.

*Praca została zrealizowana w ramach programu wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków prac, realizowanego w latach 2008-2010, pakietu projektów badawczo-rozwojowych oraz innych programów badawczych.*

## Literatura

- [1] Augustyńska D., Kowalski P., *Strategia ochrony pracowników przed drganiami mechanicznymi według nowych przepisów prawnych – europejskich i krajowych*, Bezpieczeństwo Pracy, nr 5 (416), Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2006, 8-10.
- [2] Directive 2002/44/WE of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to

the risks arising from physical agents (vibration). (Sixteenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC), OJ L177, 06.07.2002.

- [4] Engel Z., Kowalski P., *Ocena ekspozycji drganiowej przy zastosowaniu wskaźników*, Mechanika, nr 83, Politechnika Krakowska, Kraków 2001.
- [5] Griffin M.J., *Handbook of HUMAN VIBRATION*, Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers London, San Diego, New York, Berkeley, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto 1990.
- [7] Świderski S., *Transport Przemysłowy*, nr 2/2002.