

dr inż. PIOTR KOWALSKI  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy  
 – Państwowy Instytut Badawczy

noise  
 control  
 '04

# Ocena ryzyka zawodowego pracowników narażonych na drgania miejscowe i ogólne jednocześnie – propozycja metody

## Wstęp

Na stanowiskach pracy obsługi maszyn i urządzeń prawie zawsze występuje zagrożenie drganiami mechanicznymi. W wielu przypadkach (np. kierowcy, operatorzy maszyn samojezdnych) pracownik jest narażony jednocześnie na drgania działające przez kończyny górne (miejscowe) i na cały organizm (ogólne). Brak możliwości uwzględnienia łącznego narażenia na oba rodzaje drgań wpływa na niedoszacowanie ryzyka zawodowego na takim stanowisku pracy.

Zgodnie z definicją zawartą w PN-N-18002:2000 [1] *ryzyko zawodowe to prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń związanych z wykonywaną pracą powodujących straty, w szczególności wystąpienia u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku zagrożeń występujących w środowisku pracy lub sposobu wykonywania pracy, natomiast ocena ryzyka to proces analizowania ryzyka i wyznaczania dopuszczalności ryzyka.*

Zaproponowana w tym artykule metoda łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych, działających na pracowników, jest próbą rozwiązania prowadzącego do oceny ryzyka zawodowego zgodnego z rzeczywistym narażeniem na drgania.

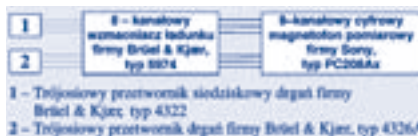
## Badania drgań i ocena ryzyka zawodowego na wybranych stanowiskach pracy

Opracowanie propozycji metody łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych działających jednocześnie oparto na kompleksowych badaniach drgań charakteryzujących wybrane stanowiska pracy. Pomiary przeprowadzono za pomocą zestawu aparatury, którego schemat przedstawiono na rys.

W artykule przedstawiono propozycję metody oceny narażenia pracowników na drgania miejscowe i ogólne działające jednocześnie. Metodę opracowano na podstawie wyników badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych. Wyniki badań na wybranych stanowiskach pracy pokazały, że narażenie na drgania miejscowe i ogólne jest porównywalne. Prawidłowa ocena ryzyka zawodowego ze względu na drgania mechaniczne wymaga m.in. uwzględnienia łącznego narażenia pracowników na oba rodzaje drgań.

### The problem of evaluating simultaneous exposure of workers to hand-arm and whole-body vibrations

This article presents proposals for a method of evaluating simultaneous exposure of workers to hand-arm and whole-body vibrations. This method has been developed on the basis of the results of field investigations. Studies at selected workstations showed that hazards caused by hand-arm and whole-body vibrations were comparable. In order to properly evaluate the risk of vibration disease it is necessary, among other things, to determine the combined influence of both kinds of vibrations.



Rys. Schemat toru pomiarowego

Fig. Diagram of a test stand

Na magnetofonie cyfrowym rejestrowano 6 sygnałów drgań – trzy sygnały drgań miejscowych (z kierunków x,y,z) i 3 sygnały drgań ogólnych (z kierunków x,y,z). Do analizy zarejestrowanych sygnałów wykorzystano system multianalizatora PULSE.

Badano drgania występujące na 10 wybranych stanowiskach pracy. Przeanalizowano 60 zarejestrowanych sygnałów drgań, uzyskując w odniesieniu do każdego stanowiska 6 widm przyspieszenia drgań, 6 wartości ważonych przyspieszenia drgań oraz obliczone na ich podstawie dwie wartości sum wektorowych (w odniesieniu do drgań o działaniu ogólnym i miejscowym). Uzyskane wartości sum wektorowych  $a_{w,e,eq,8h}$  porównano z wartościami dopuszczalnymi  $A(8)_{dop}$  określonymi w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych

WARTOŚCI DOPUSZCZALNE DRGAŃ MECHANICZNYCH [2] Tabela 1  
 Vibration exposure limits

Rodzaj drgań	Wartości dopuszczalne drgań mechanicznych	
Drgania działające przez kończyny górne (miejscowe)	$A(8)_{dop} = 2,8 \text{ m/s}^2$	$a_{w,s,max,dop} = 11,2 \text{ m/s}^2$
Drgania o działaniu ogólnym (ogólne)	$A(8)_{dop} = 0,8 \text{ m/s}^2$	$a_{w,s,max,dop} = 3,2 \text{ m/s}^2$

$A(8) = a_{w,e,eq,8h}$  – całkowiata dzienna ekspozycja na drgania, równoważna dla 8 godzin wartość sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, określana wzorem:

$$a_{w,s,eq,8h} = A(8) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{w,i}^2 \cdot t_i} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n D_i}$$

gdzie:  $a_{w,i}$  – suma wektorowa skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, wyznaczona dla  $i$ -tej czynności w narażeniu na drgania, w  $\text{m/s}^2$ ;  $t_i$  – czas trwania  $i$ -tej czynności w narażeniu na drgania, w godz. lub min;  $n$  – liczba czynności w narażeniu na drgania na kontrolowanym stanowisku pracy;  $D_i$  – dawka drgań wyznaczona dla  $i$ -tej czynności w narażeniu na drgania, w  $\text{m}^2/\text{s}^3$ ;  $T = 8$  godzin = 480 min = 28 800 s

stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [2] przedstawionymi w tabeli 1.

Obliczone krotności wartości dopuszczalnych posłużyły do oceny ryzyka zawodowego na badanych stanowiskach pracy. Zgodnie z normą PN-N-18002:2000 [1] przyjęto trójstopniową skalę oceny ryzyka:

- krotność wartości dopuszczalnej < 0,5; ryzyko małe
- $0,5 \leq$  krotność wartości dopuszczalnej  $\leq 1$ ; ryzyko średnie
- krotność wartości dopuszczalnej > 1; ryzyko duże.

Wyniki przeprowadzonej oceny zestawiono w tabeli 2.

Przedstawione wyniki badań wskazują na porównywalny udział w narażeniu pracownika obu rodzajów drgań (miejscowych i ogólnych). Zaobserwowano przypadki, w których wartości sum wektorowych obu rodzajów drgań osiągają ok. 0,5 wartości dopuszczalnych (NDN), np. autobus Jelcz M121, autobus Ikarus 280. Zgodnie ze stosowaną metodą oceny, oceniono ryzyko na tych stanowiskach jako średnie, czyli dopuszczalne. Gdy wartości obu sum wektorowych (drgań miejscowych i ogólnych) zbliżają się do wartości dopuszczalnych (np. autobus Man, autobus Solaris), przyjęcie ryzyka zawodowego za akceptowalne staje się już problematycz-

ne. Podczas badań zarejestrowano także przypadki, w których jedna (np. ładowarka gaśnicowa Liebherr, wywrotka Kamaz) lub obie wartości dopuszczalne są przekroczone (np. spycharka DT 75). Można przypuszczać, że ocenianie tylko jednego rodzaju drgań, np. drgań miejscowych i pominięcie drgań działających ogólnie, wiąże się z bardzo dużym uproszczeniem i niedoszacowaniem rzeczywistego ryzyka zawodowego. Ze względu na dotychczasowy brak rozwiązań tego problemu podjęto próbę opracowania metody łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych działających jednocześnie.

### Propozycja metody łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych działających jednocześnie

Przy opracowywaniu propozycji orientacyjnej metody łącznej oceny narażenia pracownika na drgania miejscowe i ogólne działające jednocześnie założono, że:

- energia drgań  $E$  – działających przez kończyny górne – miejscowych oraz drgań o działaniu ogólnym, sumuje się; ich antagonistyczne działanie możliwe jest tylko teoretycznie i to przy spełnieniu bardzo wielu warunków jednocześnie, w tym warunku harmonicznego, wymuszających sygnałów drgań, nie występujących prawie w przyrodzie:

$$E_{\text{całk.}} = \sum E_i \quad (1)$$

gdzie:  $E_i$  – energia cząstkowa

- całkowita energia drgań działających na pracownika  $E_{\text{całk.}}$  jest proporcjonalna do całkowitej dawki  $D_{\text{całk.}}$  drgań na jaką jest narażony:

$$E_{\text{całk.}} \sim D_{\text{całk.}} \quad (2)$$

przy czym, całkowita dawka drgań definiowana jest następująco:

$$D_{\text{całk.}} = \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot t_i \quad (3)$$

gdzie:

$a_i$  – cząstkowe przyspieszenie drgań, w  $\text{m/s}^2$

$t_i$  – czas działania cząstkowego przyspieszenia  $a_i$ , w s

- całkowita dawka drgań  $D_{\text{całk.}}$  jest sumą wszystkich dawek cząstkowych  $D_i$ :

$$D_{\text{całk.}} = \sum D_i \quad (4)$$

można ją przedstawić jako sumę dawek drgań ogólnych i miejscowych skorygowanych wyznaczonymi eksperymentalnie współczynnikami ( $A$ ,  $B$ ):

$$D_{\text{całk.}} = A D_O + B D_M \quad (5)$$

Zgodnie z przeprowadzaną dotychczas oceną ryzyka zawodowego ze względu na drgania mechaniczne, przekroczenie którejkolwiek wartości dopuszczalnej – odnoszących się do drgań miejscowych lub ogólnych – oceniane jest w ten sam sposób, tzn. skutkuje stwierdzeniem: „ryzyko

Tabela 2

KROTNOŚĆ WARTOŚCI DOPUSZCZALNEJ I RYZYKO ZAWODOWE NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY

Multiplication factor of the limit value and occupational risk at selected work places

Nazwa stanowiska pracy	Krotność wartości dopuszczalnej $A(8)_{\text{dop}}$		Ryzyko zawodowe
	drgania miejscowe	drgania ogólne	
Kierowca autobusu IKARUS 260	0,45	0,65	średnie (O)
Kierowca autobusu IKARUS 280	0,45	0,65	średnie (O)
Kierowca autobusu JELCZ M121	0,44	0,54	średnie (O)
Kierowca autobusu MAN	0,74	0,83	średnie (O)
Kierowca autobusu NEOPLAN	0,74	0,64	średnie (M)
Kierowca autobusu SOLARIS	1,05	0,70	duże (M)
Operator ładowarki gaśnicowej LIEBHERR 621	0,95	1,38	duże (O)
Operator koparko-ładowarki BOREX	0,81	0,80	średnie (M)
Operator spycharki DT 75	1,57	1,66	duże (O)
Kierowca wywrotki KAMAZ 5511	0,4	1,05	duże (O)

Litery w nawiasach oznaczają rodzaj drgań, przy którym krotności wartości dopuszczalnych były największe: M – drgania o oddziaływaniu miejscowym, O – drgania o oddziaływaniu ogólnym

Tabela 3

KROTNOŚĆ WARTOŚCI  $2,8 \text{ m/s}^2$  – ILORAZ WARTOŚCI ZASTĘPCZEJ CAŁKOWITEJ SUMY WEKTOROWEJ AZC I WARTOŚCI  $2,8 \text{ m/s}^2$

Multiplication factor of the  $2.8 \text{ m/s}^2$  value - the quotient of the substitute value of the total vector sum and the  $2.8 \text{ m/s}^2$  value

Nazwa stanowiska pracy	Krotność wartości $2,8 \text{ m/s}^2$		
	wariant 1.	wariant 2.	wariant 3.
Kierowca autobusu IKARUS 260	0,79	1,59	2,33
Kierowca autobusu IKARUS 280	0,84	1,64	2,39
Kierowca autobusu JELCZ M121	0,70	1,33	1,93
Kierowca autobusu MAN	1,11	2,07	2,98
Kierowca autobusu NEOPLAN	0,97	1,66	2,34
Kierowca autobusu SOLARIS	1,22	1,93	2,65
Operator ładowarki gaśnicowej LIEBHERR 621	1,67	3,36	4,91
Operator koparko-ładowarki BOREX	1,13	2,03	2,90
Operator spycharki DT 75	2,29	4,20	6,03
Kierowca wywrotki KAMAZ 5511	1,12	2,48	3,38

duże – niedopuszczalne” (mimo że skutki działania na człowieka drgań miejscowych i ogólnych są odmienne). Można zatem zaryzykować stwierdzenie, że na stopień narażenia na drgania (w aspekcie oceny ryzyka utraty zdrowia) wpływa tak samo przekroczenie wartości dopuszczalnej drgań miejscowych, jak i przekroczenie wartości dopuszczalnej drgań ogólnych. Wykorzystano to przy opracowaniu propozycji orientacyjnej łącznej metody oceny narażenia na drgania miejscowe i ogólne działające jednocześnie. Związek opisujący dawkę drgań w postaci przedstawionej wzorem (3) przyjęto na podstawie subiektywnej oceny drgań, prowadzonej w warunkach doświadczalnych przez wielu autorów. W założeniu, wielkość ta ma odzwierciedlać energię drgań jaka działa na organizm człowieka w czasie pracy.

Głównym elementem w proponowanej metodzie oceny drgań działających na pracownika jest wyznaczenie całkowitej dawki drgań – zgodnie ze wzorem (5) – jako sumy dawek drgań pochodzących od drgań miejscowych i ogólnych, skorygowanych odpowiednimi współczynnikami korekcyjnymi. Wprowadzone współczynniki umożliwiają sumowanie dawek wyznaczonych w różnych zakresach częstotliwości (drgania miejscowe 5,6 – 1400 Hz, drgania ogólne 0,8 – 90 Hz) oraz o dużych różnicach wartości (ponad 10-krotnych).

Rozważano trzy warianty korekcji różniące się sposobem wyznaczenia oraz wartościami współczynników  $A$  i  $B$ .

Przedstawione współczynniki korekcyjne uzyskano przez symulacje komputerowe dawek drgań z uwzględnieniem obowiązujących wartości dopuszczalnych i charakterystyk ważenia [4]:

- wariant 1:  $D_{\text{całkowita}} = 3,5 D_O + D_M$
- wariant 2:  $D_{\text{całkowita}} = 8,2 D_O + D_M$
- wariant 3:  $D_{\text{całkowita}} = 12,25 D_O + D_M$

Na podstawie uzyskanych dawek  $D_{\text{całkowita}}$  wyznaczono wartości zastępczych całkowitych sum wektorowych  $A_{ZC}$ , które następnie poddano ocenie.

Propozycja orientacyjnej metody łącznej oceny drgań działających na pracowników jednocześnie w sposób miejscowy i ogólny polega na porównaniu wyznaczonej wartości zastępczej całkowitej sumy wektorowej  $A_{ZC}$  z wartością dopuszczalną, ustaloną dla takiego oddziaływania drgań. Ponieważ w metodzie tej wykorzystano wartości dopuszczalne określone w rozporządzeniu MPiPS, **orientacyjną** ocenę drgań można uzyskać przez porównanie wartości zastępczej całkowitej sumy wektorowej  $A_{ZC}$  z wartością  $A(8)_{\text{dop}} = 2,8 \text{ m/s}^2$  (było to m.in. celem korekcji).

W tabeli 3. podano krotność tej wartości, a w tabeli 4. – ocenę ryzyka zawodowego.

Przedstawione wartości (tabele 2 i 3) uzyskano na podstawie wyników analizy zarejestrowanych 60 sygnałów. Analizie drgań działających ogólnie przeprowadzono w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 400 Hz (z rozdzielczością 0,25 Hz), w odniesieniu do drgań działających miejscowo – w zakresie od 1 Hz do 1600 Hz (z rozdzielczością 1,0 Hz). Wynikiem analizy były widma wąskopasmowe w każdym punkcie pomiarowym, w trzech kierunkach (po 1600 składowych dla każdego analizowanego sygnału).

### Podsumowanie

We wszystkich przypadkach badanych stanowisk pracy, wyznaczone za pomocą proponowanej metody łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych, ryzyko zawodowe jest co najmniej średnie (wariant 1.) lub duże (wariant 2. i 3.). W porównaniu z metodą oddzielnej oceny drgań miejscowych i ogólnych: dla 2 stanowisk (wariant 1.), lub dla 6 stanowisk (wariant 2. i 3.), zmieniła się kwalifikacja ryzyka ze średniego – dopuszczalnego na duże – niedopuszczalne. Na czterech stanowiskach ryzyko pozostało duże w obu sposobach oceny. We wszystkich przypadkach badanych stanowisk pracy krotności przekroczenia przyjętej wartości dopuszczalnej są większe niż krotności wyznaczone na podstawie rozporządzenia [2].

Ocena drgań orientacyjną metodą łączną ukazuje niedoszacowanie ryzyka zawodowego na opisanych stanowiskach pracy, na których oceniono oddzielnie drgania miejscowe i ogólne. Ze względu na wartość współczynnika  $A$  najostrożniejsza ocena drgań wiąże się z wariantem 3. proponowanej metody, najłagodniejszą ocenę można przeprowadzić przy zastosowaniu wariantu 1. Wybór konkretnego wariantu proponowanej metody oceny drgań wymaga poszerzonych badań doświadczalnych, symulacyjnych i epidemiologicznych. Wyniki badań drgań na wybranych 10 stanowiskach pracy wskazują na porównywalne zagrożenie pochodzące od drgań miejscowych i ogólnych (co było głównym motywem podjęcia pracy). Proponowana metoda jest prosta i możliwa do zastosowania przy wykorzystaniu tradycyjnego wielokanałowego zestawu pomiarowego, wyposażonego w odpowiednie filtry ważenia. Wyniki pomiarów wykorzystywane w proponowanej metodzie mogą służyć zarówno do oceny łącznej, jak i do oceny stosowanej dotychczas, tzn. oddzielnie dla drgań miejscowych i oddzielnie dla ogólnych (na podstawie wartości NDN).

Opracowano w ramach zadania badawczego nr II-04 programu działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego

Tabela 4  
RYZYKO ZAWODOWE WYZNACZONE PROPONOWANĄ METODĄ ŁĄCZNEJ OCENY DRGAŃ MIEJSCOWYCH I OGÓLNYCH

*Occupational risk determined with the proposed method of a combined evaluation of hand-arm and whole-body vibrations*

Nazwa stanowiska pracy	Ryzyko zawodowe wg propozycji metody łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych		
	wariant 1.	wariant 2.	wariant 3.
Kierowca autobusu IKARUS 260	średnie	duże	duże
Kierowca autobusu IKARUS 280	średnie	duże	duże
Kierowca autobusu JELCZ M121	średnie	duże	duże
Kierowca autobusu MAN	duże	duże	duże
Kierowca autobusu NEOPLAN	średnie	duże	duże
Kierowca autobusu SOLARIS	duże	duże	duże
Operator ładowarki gaśnicowej LIEBHERR 621	duże	duże	duże
Operator koparko-ładowarki BOREX	duże	duże	duże
Operator spycharki DT 75	duże	duże	duże
Kierowca wywrotki KAMAZ 5511	duże	duże	duże

Mogą być punktem wyjścia do badań nad jednoczesnym działaniem drgań miejscowych i ogólnych na organizm człowieka, prowadzących do ustalenia nowej wartości dopuszczalnej.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-N-18002:2000 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego
- [2] Rozporządzenie 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. DzU nr 217, poz. 1833
- [3] Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council 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 L 177, 06/07/2002 s. 0013 - 0020
- [4] Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego w ramach działalności statutowej CIOP PIB nr II-04 Opracowanie metody oceny narażenia pracowników na drgania miejscowe i ogólne działające jednocześnie. Etap II, 2004

Autor składa wyrazy podziękowania prof. zw. dr. hab. inż. Zbigniewowi Engelowi za pomysł i merytoryczne wsparcie w badaniach dotyczących zastosowania metody energetycznej do łącznej oceny drgań miejscowych i ogólnych.