

dr hab. n. med. BARBARA HARAZIN  
 Śląska Akademia Medyczna  
 Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii

## Nowe wartości NDN drgań mechanicznych na stanowiskach pracy

**D**rgania mechaniczne występują w każdym środowisku pracy, w którym wykorzystywane są urządzenia przemieszczające się lub pracujące na zasadzie ruchu obrotowego, albo posuwisto-zwrotnego.

Źródłami tzw. drgań ogólnych, tj. drgań działających na całe ciało człowieka, są ruchome maszyny robocze, pojazdy przemysłowe i środki transportu. Zawodowa ekspozycja na drgania miejscowe, działające na kończyny górne, występuje podczas prac ręcznymi narzędziami wibracyjnymi, wytwarzającymi drgania mechaniczne przeważnie celowo w takich operacjach, jak: cięcie blach, ubijanie mas formierskich, wykonywanie odwiertów, szlifowanie i polerowanie detali, cięcie i obrzynka drzew itp.

Nadmierne obciążenie organizmu pracownika drganiami doprowadza do rozwoju choroby, zwanej zespołem wibracyjnym, charakteryzującej się nieswoistymi dolegliwościami i procesami chorobowymi w wielu układach organizmu. Ochrona przed szkodliwym działaniem wibracji winna polegać w pierwszym rzędzie na przestrzeganiu zasady, by na stanowiskach pracy nie były przekraczane najwyższe dopuszczalne wartości (NDN) drgań mechanicznych [7].

Naukową podstawę do ustalania wartości NDN drgań stanowią badania doświadczalne z udziałem wolontariuszy i epidemiologiczne badania zawodowo narażonych na wibracje. Wraz z postępem wiedzy weryfikuje się wartości NDN drgań mechanicznych, bliżej wiążąc je z odległymi nieswoistymi skutkami zdrowotnymi.

Podjęta weryfikacja dotychczasowych krajowych wartości NDN drgań mechanicznych była niezbędna ze względu na brak możliwości jednoznacznej oceny narażenia pracownika na wibracje, na skutek przyjęcia wielu wartości NDN, powiązanych z wartościami współczynnika szczytu, bez potwierdzenia przyjętych

zależności z wynikami badań medycznych, a także z powodu przyjęcia zbyt dużych bądź małych wartości NDN w porównaniu do dozwolonych wartości podawanych obecnie w piśmiennictwie [6].

### Higieniczne kryteria normowania drgań mechanicznych

#### Ogólne drgania mechaniczne

Poznanie biomechanicznych i psychofizycznych reakcji człowieka na drgania, ujawnianych w warunkach doświadczalnych, stanowiło na początku jedyną podstawę do określenia pierwszych wartości NDN ogólnych drgań mechanicznych. Stwierdzono, że biomechaniczna reakcja człowieka na drgania ogólne zależy od trzech podstawowych kierunków działającego bodźca wibracyjnego ( $X$ ,  $Y$  i  $Z$ ) i jest zróżnicowana w zależności od częstotliwości drgań [10]. Charakter tego zróżnicowania został uwzględniony w tzw. ważonej częstotliwościowo wartości przyspieszenia  $a_w$  dla danego kierunku, którą stosuje się w pomiarach i ocenie wibracji na stanowiskach pracy. W przypadku jednoczesnego występowania drgań o zbliżonych wartościach przyspieszeń w kierunkach poziomych ( $X$ ,  $Y$ ) i pionowym ( $Z$ ), ich wpływ na pogorszenie sprawności człowieka jest większy w porównaniu do skutków działania drgań o takim samym przyspieszeniu występującym tylko w jednym kierunku. Dlatego w ocenie skutków zdrowotnych należy brać pod uwagę całkowitą wartość ważoną częstotliwościowo przyspieszenia wyrażoną przez sumę wektorową  $a_{ws}$  poszczególnych składowych:

$$a_{ws} = \sqrt{(1,4a_{wx})^2 + (1,4a_{wy})^2 + (a_{wz})^2} \quad (1)$$

W powyższym wzorze uwzględniono wyniki badań doświadczalnych, które ujawniły 1,4-krotnie większą wrażliwość badanych osób na drgania poziome ( $X$ ,  $Y$ ) w porównaniu do reakcji na drgania pionowe ( $Z$ ).

*Praca realizowana w Instytucie Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w ramach programu wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy”, dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych. Główny koordynator Centralny Instytut Ochrony Pracy<sup>\*)</sup>*

Długotrwałe zawodowe działanie ogólnych drgań mechanicznych może doprowadzić w organizmie człowieka do powstania wielu niespecyficznych zmian o różnorodnym charakterze [9]. Ocena dużych grup osób narażonych wykazuje, że najczęstsze zaburzenia są obserwowane w układzie ruchu, zlokalizowane głównie w lędźwiowym odcinku kręgosłupa. W wielu doniesieniach autorzy podają, że dolegliwości pojawiają się statystycznie częściej, jeżeli równoważne w odniesieniu do 8 godzin ważne częstotliwościowo pionowe przyspieszenia nie przekraczają nawet wartości 0,6 m/s<sup>2</sup> [1].

Zespół bólowy kręgosłupa wywołany działaniem wibracji ogólnej, został uznany za chorobę zawodową w Belgii i Niemczech [3].

W tabeli 1. porównano najwyższe dopuszczalne wartości drgań ogólnych przyjęte lub proponowane w różnych państwach i w Polsce [8].

#### Miejscowe drgania mechaniczne

Badania doświadczalne wykazały, że stopień rozprzestrzeniania wibracji zależy przede wszystkim od częstotliwości i właściwości sprężysto-tłumiennych badanego obszaru kończyny. Zróżnicowana reakcja kończyny górnej człowieka w zależności od częstotliwości drgań została wykorzystana do oceny wibracji

<sup>\*)</sup> Praca była referowana na XII Międzynarodowej Konferencji Zwalczenia Hałasu *Noise control '01*, Kielce, 24-26 września 2001 r.

Tabela 1  
NAJWIŻSZE DOPUSZCZALNE WARTOŚCI OGÓLNYCH DRGAŃ MECHANICZNYCH STOSOWANE W WYBRANYCH PAŃSTWACH

Państwo	Rok ustanowienia	Równoważne w odniesieniu do 8 godzin przyspieszenia (m/s <sup>2</sup> )		
		Wartości skuteczne ważone częstotliwościowo $a_{w(eq,8h)}$ (kierunek Z i X/Y)	Wartości skuteczne w pasmach częstotliwości rezonansowych $a_{(eq,8h)}$	
			4-8 Hz (Z)	1-2 Hz (X/Y)
POLSKA	1991	0,4; 0,63; 1,25(Z) 0,315; 0,45; 0,9(X/Y)	0,315	0,224
Japonia	1996		0,63	0,448
Australia	1990		0,63	0,448
USA	1979		0,63	0,448
Dania	1990	0,45 (Z) 0,32 (X/Y)		
Rosja	1984	0,56 (Z) 0,4 (X/Y)	0,315	0,224
Czechy	1977	0,56 (Z) 0,4 (X/Y)	0,315	0,224
UK	1987	0,8		
Niemcy	1994	0,8		

Tabela 2  
NAJWIŻSZE DOPUSZCZALNE WARTOŚCI MIEJSCOWYCH DRGAŃ MECHANICZNYCH STOSOWANE W WYBRANYCH PAŃSTWACH

Państwo	Rok ustanowienia	Równoważne w odniesieniu do 8 godzin ważne częstotliwościowo wartości przyspieszenia $a_{w(eq,8h)}$ (m/s <sup>2</sup> )		
		$a_{w(eq,8h)}$ (m/s <sup>2</sup> )		
		do 1	>1≤2	>2≤4
POLSKA	1991	0,8	1,8	2,8
Japonia	1999			2,8
Chiny	1989			3,5
USA	1986			2,8-4,0
Dania	1990			2,1
Rosja	1984		2	
Czechy	1977		1,4	
UK	1987			2,8
Rumunia	1996			3,7

miejscowych na podstawie pomiarów tzw. ważonej częstotliwościowo wartości przyspieszenia  $a_w$ . Ostatnie badania wykazały, że podczas jednoczesnego działania drgań w wielu kierunkach, reakcje człowieka najlepiej odzwierciedla wartość sumy wektorowej  $a_{wS}$  ważonych częstotliwościowo składowych przyspieszeń w trzech kierunkach ( $a_{wX}$ ,  $a_{wY}$ , lub  $a_{wZ}$ ) [4]. Wzór na sumę wektorową drgań miejscowych przedstawia poniższe równanie:

$$a_{wS} = \sqrt{a_{wX}^2 + a_{wY}^2 + a_{wZ}^2} \quad (2)$$

Nadmierne i długotrwałe działanie wibracji miejscowych może doprowadzić do nieswoistych zmian chorobowych w układzie naczyniowym, nerwowym, kostno – stawowym i mięśniowym kończyn górnych. W badaniach epidemiologicznych starano się najczęściej określić związek między prawdopodobieństwem pojawienia się zmian naczyniowych, występujących pod postacią napadowego zblednięcia skóry palców rąk, tzw. objawu Raynauda, a wielkością dziennego narażenia na wibracje [2,5]. W Wielkiej Brytanii i aktualnie w Japonii przyjmowane wartości NDN drgań miejscowych opierają się na kryterium występowania objawu Raynauda (tabela 2).

### Nowe wartości NDN drgań mechanicznych

Nowe wartości NDN drgań zostały przygotowane na podstawie analizy:

- podobnych projektów opracowywanych obecnie w innych krajach
- projektów normatywów Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO)
- propozycji wartości NDN dyskutowanych w Komisji Unii Europejskiej
- piśmiennictwa światowego i krajowego dotyczącego krytycznej analizy parametrów wibracji stosowanych do oceny szkodliwości drgań oraz kryteriów oceny skutków zdrowotnych u narażonych pracowników
- własnych wyników badań doświad-

czalnych i epidemiologicznych [8].

Jako NDN drgań mechanicznych przyjęto ważoną częstotliwościowo skuteczną wartość sumy wektorowej  $a_{wS}$  trzech składowych przyspieszeń drgań  $a_{wZ}$ ,  $a_{wX}$  i  $a_{wY}$ , wyznaczonych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach Z, X i Y, w odniesieniu do 8-godzinnego działania wibracji w ciągu zmiany roboczej.

W odniesieniu do ogólnych drgań mechanicznych przyjęto następującą dopuszczalną wartość sumy wektorowej przyspieszeń:  $a_{wS(8h)} = 0,8 \text{ m/s}^2$ . Dla ekspozycji trwających 30 minut i krócej przyjęto maksymalną wartość dopuszczalnej sumy wektorowej przyspieszeń:  $a_{wS(0,5h)} = 3,2 \text{ m/s}^2$ .

W odniesieniu do miejscowych drgań mechanicznych przyjęto następującą dopuszczalną wartość sumy wektorowej przyspieszeń:  $a_{wS(8h)} = 2,8 \text{ m/s}^2$ . Dla ekspozycji trwających 30 minut i krócej przyjęto maksymalną wartość dopuszczalnej sumy wektorowej przyspieszeń:  $a_{wS(0,5h)} = 11,2 \text{ m/s}^2$ .

Równoważną w odniesieniu do 8 godzin wartość sumy wektorowej należy wyznaczyć w dwóch przypadkach.

1. Jeżeli czas  $t$  działania drgań mechanicznych w ciągu zmiany roboczej jest krótszy niż  $T = 8$  godzin, wtedy wartość sumy wektorowej przyspieszeń  $a_{wS(eq,8h)}$  równoważną w odniesieniu do 8 godzin określa się z następującej zależności:

$$a_{wS(eq,8h)} = a_{wS(t)} \sqrt{t/T} \quad (3)$$

gdzie:

$a_{wS(t)}$  – wartość sumy wektorowej przyspieszeń, działających przez okres czasu  $t$ , wyznaczonej dla ogólnych i miejscowych drgań mechanicznych odpowiednio ze wzorów (1) i (2).

2. Jeżeli w ciągu zmiany roboczej działanie miejscowych drgań mechanicznych składa się z kilku różnych ekspozycji o różnym czasie trwania i różnych wartościach sum wektorowych, wtedy wartość sumy wektorowej przyspieszeń  $a_{wS(eq,8h)}$  równoważną w odniesieniu do 8 godzin wyznacza się z następującej zależności:

$$a_{wS(eq,8h)} = \sqrt{1/T \sum (a_{wSi})^2 t_i} \quad (4)$$

gdzie:

$a_{wSi}$  – wartość i-tej sumy wektorowej przyspieszeń, działających przez okres czasu  $t_i$ , wyznaczonej ze wzoru (1) lub (2) odpowiednio w odniesieniu do ogólnych i miejscowych drgań mechanicznych.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] Bovenzi M., Hulshof C.T.J. *An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain*. Journal of Sound and Vibration, 4(215) 1998, s. 595-611
- [2] Bovenzi M. *Exposure – response relationship in the hand-arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research*. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 71, 1998, s. 509-519
- [3] Dupuis H. *Medical and occupational pre-conditions for vibration-induced spinal disorders: occupational disease no.2110 in Germany*. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 66, 1994, 303-308
- [4] Gemme G., Lundström R., Hansson J.E. *Disorders induced by work with hand-held vibrating tools. A review of current knowledge for criteria documentation*. Arbete och Hälsa, 1993
- [5] Harazin B., Langauer-Lewowicka H. *Raynaud's phenomenon in different groups of workers using hand-held vibrating tools*. Central European Journal of Public Health, 2 t. 4, 1996, s. 130-132
- [6] Harazin B. *Ocena i interpretacja wyników pomiaru drgań mechanicznych na stanowiskach pracy*. Bezpieczeństwo Pracy 1(294), 1996, s. 19-22
- [7] Harazin B. *Narażenie na drgania mechaniczne a ocena ryzyka zdrowotnego operatorów ręcznych narzędzi wibracyjnych*. Ochrona Zdrowia Pracownika 2, 1996, s. 13-16
- [8] Harazin B. *Drgania mechaniczne. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych narażenia zawodowego*. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 1(27), 2000, s. 177-211
- [9] Seidel H., Heide R. *Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature*. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 58, 1986, s. 1-26
- [10] Von Gierke H.E., Coermann R.R. *The biodynamics of human response to vibration impact*. Ind. Med. Surg., 1 t. 32, 1963, s. 30-32