



Ocena narażenia pracowników na jednoczesne działanie kilku czynników wibroakustycznych

dr inż. Jacek Zajac^{a,b} (ORCID: 0000-0003-2975-6680)

dr inż. Piotr Kowalski^a (ORCID: 0000-0003-4066-9967)

mgr inż. Adrian Alikowski^a (ORCID: 0000-0003-1147-2516)



Fot. Drazen Zigic/FreePik

Stosowane obecnie znormalizowane metody oceny narażenia zarówno na drgania działające w sposób ogólny i przez kończyny górne, jak i na hałas na stanowisku pracy nie uwzględniają sytuacji jednoczesnego występowania tych czynników wibroakustycznych i tym samym wpływają na zaniżenie oceny ryzyka zawodowego, ponieważ w takim przypadku dawka energii pochłaniana przez pracownika jest większa niż przy ekspozycji tylko na hałas lub tylko na drgania jednego rodzaju. W artykule zaproponowano więc metodę oceny narażenia pracowników na jednoczesne działanie tych trzech czynników, a ponadto przedstawiono wyniki oceny ryzyka zawodowego przeprowadzonego tą metodą w odniesieniu do pięciu rzeczywistych stanowisk pracy.

Słowa kluczowe: drgania ogólne, drgania miejscowe, hałas, ryzyko zawodowe

Assessment of workers' exposure to the simultaneous action of several vibroacoustic factors

Currently used standardized methods for assessing exposure to whole-body vibration (WBV), hand-arm vibration (HAV) as well as to noise at workstations do not account for the simultaneous occurrence of these vibroacoustic factors and therefore underestimate occupational risk assessments, because in such cases, the energy dose absorbed by the worker is greater than when exposed to noise alone or to a single type of vibration. This article proposes a method for assessing worker exposure to the simultaneous effects of these three factors and presents the results of an occupational risk assessment conducted using this method for five real-world workplaces.

Keywords: whole-body vibration, hand-arm vibration, noise, occupational risk

^a Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

^b Kontakt: jajac@ciop.pl.

Wstęp

Na wielu stanowiskach pracy w przedsiębiorstwach zajmujących się budownictwem, transportem, produkcją i przetwarzaniem (np. metali, drewna) czy górnictwem występuje jednocześnie narażenie na drgania działające w sposób ogólny, przez kończyny górne oraz na hałas.

Drgania mechaniczne działające na cały organizm pracownika poprzez jego stopy (gdy stoi) lub przez miednicę, plecy, boki (gdy znajduje się w pozycji siedzącej lub leżącej) nazywane są drganiami o ogólnym działaniu (drgania ogólne). Długotrwałe narażenie na drgania ogólne może doprowadzić do trwałych, nieodwracalnych zmian chorobowych, obejmujących przede wszystkim układ kostny (zespół bólowy kręgosłupa) i narządy wewnętrzne człowieka. Drgania ogólne, nawet o małych amplitudach, często są uciążliwe dla człowieka, ponieważ powodują dyskomfort i obniżają sprawność psychomotoryczną.

Drgania działające na organizm człowieka przez kończyny górne nazywane są drganiami miejscowymi. Narażenie na tego typu drgania może prowadzić do zmian chorobowych w układzie naczyniowym, nerwowym czy kostno-stawowym. Do zmian w układzie nerwowym, powstałych na skutek działania drgań miejscowych, zalicza się przede wszystkim zaburzenia czucia – dotyku, wibracji, temperatury – oraz dolegliwości w postaci drętwienia czy mrowienia palców i rąk.

Hałas w środowisku pracy (czyli każdy niepożądany dźwięk w zakresie częstotliwości słyszalnych, 20–20 000 Hz, który może być uciążliwy lub szkodliwy dla zdrowia ludzi oraz zwiększać ryzyko wypadku przy pracy) potencjalnie wpływa na narząd słuchu człowieka, czego skutkiem jest czasowe lub trwałe podwyższenie progu słyszenia. Dodatkowo hałas może oddziaływać na organizm człowieka pozasłuchowo, poprzez centralny układ nerwowy, powodując m.in. zaburzenia funkcji fizjologicznych organizmu oraz wpływając na stan psychiczny, zmniejszenie odporności na różne choroby, spadek koncentracji uwagi oraz efektywność i jakość pracy.

W artykule przeglądowym A. Behara przytoczono kilka prac z lat 1972–1997, w których opisano wpływ jednoczesnego działania drgań miejscowych i hałasu na czasowe lub niekiedy nawet trwałe przesunięcie progu słyszenia [1], a jako możliwą przyczynę tego wskazywano przede wszystkim działanie drgań o wysokich częstotliwościach na narządy ucha wewnętrznego (głównie przewodu ślimakowego). Jednocześnie autor podkreślił

potrzebę dalszych badań wpływu jednoczesnej ekspozycji narządu słuchu na drgania i hałas.

W pracy P. Kowalskiego przedstawiono ocenę drgań mechanicznych i hałasu działających na kierowców wybranych pojazdów drogowych [2]. Mimo że wyniki badań nie wskazywały na przekroczenie wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) – zarówno w przypadku drgań działających w sposób ogólny i przez kończyny górne, jak i w przypadku hałasu – autor zwrócił uwagę na uciążliwość czynników wibroakustycznych deklarowaną przez kierowców pojazdów.

Potrzebę uwzględniania łącznego oddziaływania drgań i hałasu występujących jednocześnie podkreślano również w artykule Z. Engela i P. Kowalskiego [3]. Autorzy wskazali na możliwość łączenia czynników wibroakustycznych na stanowiskach pracy w postaci energii – sumy dawek drgań i hałasu.

W ramach prac i projektów prowadzonych dotychczas w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) rozpatrywano narażenie pracowników na drgania działające jednocześnie w sposób ogólny i przez kończyny górne. Zasygnalizowano, że osobna ocena narażenia na drgania działające ogólnie i miejscowo wiąże się z dużym uproszczeniem i niedoszacowaniem ryzyka zawodowego [4, 5].

Celem artykułu jest przedstawienie propozycji metody oceny narażenia pracowników jednocześnie na drgania działające w sposób ogólny i przez kończyny górne oraz na hałas.

Ocena zagrożeń wibroakustycznych a przepisy

Obecnie na podstawie wyników pomiarów czynników wibroakustycznych przeprowadzana jest ocena narażenia zdrowia pracownika ze względu na drgania mechaniczne i hałas poprzez odniesienie ich do wartości dopuszczalnych podanych w rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [6]. Jednak na podstawie wartości NDN taką ocenę można przeprowadzić jedynie oddzielnie dla obu rodzajów drgań i dla hałasu. Stosowane obecnie znormalizowane metody oceny narażenia na drgania i hałas na stanowiskach pracy nie uwzględniają sytuacji, gdy wszystkie trzy czynniki wibroakustyczne występują jednocześnie (wtedy dawka energii drgań pochłaniana przez pracownika jest większa niż przy ekspozycji tylko na jeden rodzaj drgań czy tylko na hałas),

przez co wynikający z oceny poziom ryzyka zawodowego jest zaniżony.

W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki badań wstępnych prowadzonych w CIOP-PIB, których głównym celem jest opracowanie metody kompleksowej oceny wibroakustycznej jako narzędzia, które ułatwi pracodawcom i zainteresowanym podmiotom spełnienie wymagań polskich rozporządzeń [6–8] wdrażających postanowienia dyrektywy 2002/44/WE w zakresie ochrony pracowników przed hałasem i przed drganiami mechanicznymi [9].

Badania drgań mechanicznych i hałasu na wybranych stanowiskach pracy

Jednoczesne badania drgań działających w sposób ogólny, przez kończyny górne oraz hałasu przeprowadzono na pięciu wybranych stanowiskach pracy, na których występują wszystkie trzy czynniki wibroakustyczne (zob. fot. na s. 16). Pomiary drgań i hałasu przeprowadzono w warunkach typowych dla eksploatacji wybranych obiektów badań, tzn. podczas poruszania się po różnych rodzajach nawierzchni, z dostosowanymi do nich bezpiecznymi prędkościami, w trakcie wykonywania w ciągu zmiany roboczej typowych czynności.

W przypadku stanowiska 1 (operatora wózka przemysłowego wysokiego składowania) pomiary wykonano w hali magazynowej, podczas poruszania się pojazdu po suchej, malowanej nawierzchni betonowej. Cykl pracy podczas pomiarów obejmował jazdę bez ładunku, załadunek, jazdę z ładunkiem i rozładunek.

W przypadku stanowisk 2 (operatora mobilnego systemu RTG) oraz 3 (kierowcy samochodu ciężarowego) pomiary wykonano podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej z prędkością ok. 40 km/h (stanowisko 2) i ok. 60 km/h (stanowisko 3).

W przypadku stanowiska 4 (operatora łodzi policyjnej) pomiary wykonano na jeziorze podczas cumowania oraz poruszania się z prędkością manewrową, maksymalną i patrolową.

W przypadku stanowiska 5 (operatora ciągnika) pomiary wykonano podczas przejazdu po płytach betonowych oraz po nawierzchni asfaltowej.

Pomiary drgań działających w sposób ogólny przeprowadzono przy użyciu układu pomiarowego, w skład którego wchodziły: przenośny analizator dźwięku i drgań SVAN 958 z wbudowanymi filtrami korekcyjnymi W_d i W_k oraz trójosiowy przetwornik drgań Endevco 2560. Przetwornik drgań umieszczany był tak,



Fot. Badane stanowiska pracy: 1 – operatora wózka przemysłowego wysokiego składowania; 2 – operatora mobilnego systemu RTG; 3 – kierowcy samochodu ciężarowego; 4 – operatora łodzi policyjnej; 5 – operatora ciągnika (fot. Jacek Zajac) Photo. Workstations examined: 1 – industrial high-lift truck operator; 2 – mobile X-ray system operator; 3 – truck driver; 4 – police boat operator; 5 – tractor operator (photo: Jacek Zajac)

aby wskazywał drgania na styku ciała człowieka ze źródłem drgań (na siedziiskach pojazdów) [10].

Pomiary drgań działających przez kończyny górne przeprowadzano przy użyciu przenośnego analizatora dźwięku i drgań SVAN 958 z wbudowanym filtrem korekcyjnym W_b oraz trójosiowego przetwornika drgań B&K 4504A. Przetwornik mocowano za pomocą obejm pomiarowej do kierownicy, jak najbliżej miejsca kontaktu ręki pracownika ze źródłem drgań [11].

Pomiary hałasu wykonywano przy użyciu miernika poziomu dźwięku SVAN 979 z mikrofonem GRAS 40AE, który umieszczano nad ramieniem, w odległości co najmniej 0,1 m od wejścia do zewnętrznego przewodu słuchowego po stronie ucha bardziej narażonego na hałas oraz ok. 0,04 m powyżej ramienia [12].

Wyniki badań

W przypadku drgań na każdym stanowisku pracy wykonano serie kilku pomiarów, a następnie wyznaczono wartości średnie skorygowanych przyspieszeń drgań działających w sposób ogólny i przez kończyny górne. Na podstawie wartości średnich skorygowanych przyspieszeń drgań obliczono dzienne ekspozycje na drgania. W przypadku hałasu poziom ekspozycji wyznaczono jako uśrednioną wartość z co najmniej trzech pomiarów.

Wyniki pomiarów drgań ogólnych i miejscowych oraz wyniki pomiarów hałasu – w sytuacji jednoczesnego występowania tych czynników na badanych stanowiskach pracy – zestawiono w tab. 1. Ekspozycje poszczególnych czynników zostały wyznaczone dla czasu narażenia

Tabela 1. Dienne ekspozycje na drgania ogólne i miejscowe oraz hałas na badanych stanowiskach pracy Table 1. Daily exposures to WBV, HAV and noise at the studied workstations

Obiekt badań	Drgania działające w sposób ogólny	Drgania działające przez kończyny górne	Hałas
	Dzienna ekspozycja (największa składowa kierunkowa) $A_1(8)_{WB}$ [m/s ²]	Dzienna ekspozycja $A(8)_{HA}$ [m/s ²]	Poziom dziennej ekspozycji $L_{EX, 8h}$ [dB]
Stanowisko 1 – operator wózka przemysłowego	$A_z(8) = 0,33$	1,64	76,8
Stanowisko 2 – operator mobilnego systemu RTG	$A_z(8) = 0,40$	0,80	58,5
Stanowisko 3 – kierowca samochodu ciężarowego	$A_z(8) = 0,39$	1,42	72,8
Stanowisko 4 – operator łodzi policyjnej	$A_z(8) = 0,17$	0,87	81,8
Stanowisko 5 – operator ciągnika	$A_x(8) = 0,56$	1,62	80,1

w ciągu zmiany roboczej wynoszącego 360 minut.

Ocena zagrożeń wibroakustycznych

Na podstawie wyników pomiarów przeprowadzono ocenę narażenia pracownika na drgania mechaniczne i hałas, poprzez odniesienie otrzymanych wartości do podanych w rozporządzeniu [6] wartości dopuszczalnych. W tab. 2 podano krotności przekroczenia wartości dopuszczalnych w przypadku ekspozycji na drgania i hałas, wraz z oceną ryzyka zawodowego na zbadanych stanowiskach pracy.

Na podstawie wyników badań przeprowadzono ocenę ryzyka zawodowego według proponowanej, wstępnej metody oceny zagrożeń wibroakustycznych działających jednocześnie. Metoda ta bazuje na założeniu, że całkowita dawka drgań i hałasu jest sumą dawek skorygowanych współczynnikami A , B i C :

$$D_{całkowita} = A \cdot D_o + B \cdot D_M + C \cdot D_H$$

$$A = \frac{1}{D_{o,dop}} = \frac{1}{A(8)^2_{o,dop} \cdot T_0} = \frac{1}{(0,8)^2 \cdot T_0} = \frac{1}{(0,8)^2 \cdot 28\,800}$$

$$B = \frac{1}{D_{M,dop}} = \frac{1}{A(8)^2_{M,dop} \cdot T_0} = \frac{1}{(2,8)^2 \cdot T_0} = \frac{1}{(2,8)^2 \cdot 28\,800}$$

$$C = \frac{1}{D_{H,dop}} = \frac{1}{L_{EX,8h,dop}} = \frac{1}{85}$$

gdzie:
 D_o – dawka pochodząca od drgań działających w sposób ogólny,
 D_M – dawka pochodząca od drgań działających przez kończyny górne
 D_H – dawka pochodząca od hałasu.

Ze względu na to, że w opracowanej metodzie brakuje wartości dopuszczalnych obejmujących działanie łączne czynników wibroakustycznych, zaadaptowano wartości dopuszczalne odnoszące się do poszczególnych czynników działających osobno. Przyjęto wskaźnik oceny łącznego narażenia na hałas i drgania $K_{D,A}$, uwzględniający nieliniową reakcję organizmu człowieka na działanie czynników wibroakustycznych:

$$K_{D,A} = \log \left(10^{K^2_{D_o}} + 10^{K^2_{D_M}} + 10^{K^2_{D_H}} \right)$$

Obiekt badań	Drgania działające w sposób ogólny		Drgania działające przez kończyny górne		Hałas	
	Krotność przekroczenia wartości dopuszczalnej $k_{r,WB}$	Ryzyko zawodowe	Krotność przekroczenia wartości dopuszczalnej $k_{r,HA}$	Ryzyko zawodowe	Krotność przekroczenia wartości dopuszczalnej $k_{r,N}$	Ryzyko zawodowe
Stanowisko 1 – operator wózka przemysłowego	0,41	małe	0,59	średnie	0,15	małe
Stanowisko 2 – operator mobilnego systemu RTG	0,50	małe	0,29	małe	0,002	małe
Stanowisko 3 – kierowca samochodu ciężarowego	0,49	małe	0,51	średnie	0,06	małe
Stanowisko 4 – operator łodzi policyjnej	0,21	małe	0,31	małe	0,48	małe
Stanowisko 5 – operator ciągnika	0,70	średnie	0,58	średnie	0,32	małe

Tabela 2. Krotności przekroczenia wartości dopuszczalnych oraz ryzyko zawodowe na zbadanych stanowiskach
Table 2. The exceedance rates of the permissible values and occupational risk at the studied workstations

Obiekt badań	Drgania działające w sposób ogólny	Drgania działające przez kończyny górne	Hałas	Łączna ocena	
	Ryzyko zawodowe	Ryzyko zawodowe	Ryzyko zawodowe	$K_{D,A}$	Ryzyko zawodowe
Stanowisko 1 – operator wózka przemysłowego	małe	średnie	małe	0,68	średnie
Stanowisko 2 – operator mobilnego systemu RTG	małe	małe	małe	0,60	średnie
Stanowisko 3 – kierowca samochodu ciężarowego	małe	średnie	małe	0,66	średnie
Stanowisko 4 – operator łodzi policyjnej	małe	małe	małe	0,61	średnie
Stanowisko 5 – operator ciągnika	średnie	średnie	małe	0,81	średnie

Tabela 3. Ocena ryzyka zawodowego na zbadanych stanowiskach pracy
Table 3. Assessment of occupational risk in the studied workplaces

Wstępnie zaproponowano, aby ocenę ryzyka zawodowego ze względu na łączne działanie drgań i hałasu odnosić do wartości kryterialnej 1:

$0 < K_{D,A} \leq 0,5$ – ryzyko małe
 $0,5 < K_{D,A} \leq 1$ – ryzyko średnie
 $K_{D,A} > 1$ – ryzyko duże

W tab. 3 zestawiono ocenę ryzyka zawodowego wyznaczoną na podstawie wartości dopuszczalnych oraz za pomocą wstępnej metody oceny łącznego działania drgań ogólnych, drgań miejscowych i hałasu.

Wnioski i spostrzeżenia

Zgodnie z przyjętymi kryteriami $K_{D,A} < 1$ oznacza ryzyko średnie (akceptowalne), a dodatkowo – brak przekroczeń wartości dopuszczalnych dla któregośkolwiek z czynników (drgań ogólnych, drgań miejscowych i hałasu). W przypadku stanowisk 2 (operatora mobilnego systemu RTG) i 4 (operatora łodzi policyjnej) ryzyko zawodowe oszacowane zgodnie z rozporządzeniem [6] było małe w odniesieniu do drgań działających w sposób ogólny, drgań działających przez kończyny górne i hałasu, jednak po zastosowaniu

wskaźnika oceny łącznej oceniono je jako średnie. To potwierdza, że w przypadku działania kilku czynników wibroakustycznych jednocześnie wyniki oceny ryzyka uzyskane proponowaną metodą oceny łącznej wykażą zawsze większe narażenie niż w przypadku określania ryzyka na podstawie tylko jednego czynnika.

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Zadanie nr 3.ZS.02 pt. „Kompleksowa ocena wibroakustyczna stanowisk pracy”. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

BIBLIOGRAFIA

[1] Behar A., *Noise, Vibration, and Hearing Loss*, „Canadian Audiologist”, 2023, 10(5).
[2] Kowalski P., *Drgania i hałas w pojazdach drogowych*, „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka”, 2007, 5: 10–13.
[3] Engel Z., Kowalski P., *Investigation of the influence of simultaneous vibroacoustic exposures on the operator*, „Journal of Theoretical and Applied Mechanics”, 2008, 46(4): 799–811.
[4] Kowalski P., Zajac J., *Research on Simultaneous Impact of Hand-Arm and Whole-Body Vibration*, „International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)”, 2012, 18(1): 59–66.

[5] Kowalski P., Zajac J., *Model oceny łącznego oddziaływania drgań mechanicznych ogólnych i miejscowych w środowisku pracy*, Program Wieloletni pn. „Poprawa Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, Program realizacji projektów badawczych i rozwojowych 2.R.15, 2008–2010.
[6] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1286 z późn. zm.).
[7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz.U. z 2005 r. nr 157 poz. 1318)
[8] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (t.j. Dz.U. z 2025 r. poz. 949).
[9] Dyrektywa 2002/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (wibracji) (szesnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz.Urz. UE L 177 z 6 lipca 2002 r., s. 13–20).
[10] PN-EN 14253. Drgania mechaniczne. Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia. Wytyczne praktyczne.
[11] PN-EN ISO 5349:2004. Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczanie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 1 i 2.
[12] PN-ISO 9612:2011. Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna.