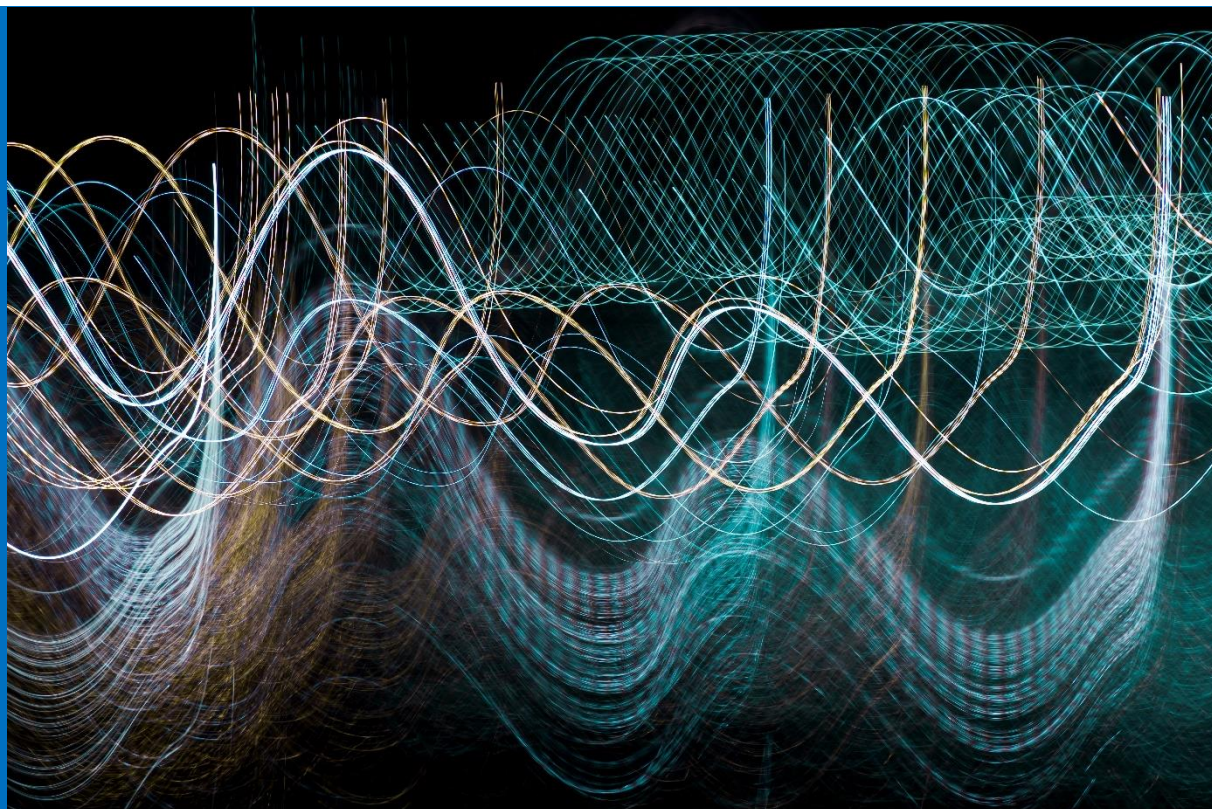


Jacek Zając, Piotr Kowalski, Adrian Alikowski



KOMPLEKSOWA OCENA WIBROAKUSTYCZNA STANOWISK PRACY

Opracowano w ramach 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*

Opracowanie redakcyjne: Dorota Marzec

Opracowanie graficzne: Jolanta Maj

Zdjęcie na okładce: Freepik.com



© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2025

CIOP  **PIB** **75** LAT

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16,

00-701 Warszawa

tel. (22) 623 36 98,

www.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.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami ocena zagrożenia wynikającego z narażenia na drgania i hałas prowadzona jest oddzielnie – z wykorzystaniem wartości NDN (najwyższe dopuszczalne natężenie) właściwych dla każdego z tych czynników. Wartości dopuszczalne dla drgań i hałasu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości dopuszczalne dziennych ekspozycji na drgania o działaniu ogólnym, przez kończyny górne oraz hałas

Drgania o działaniu ogólnym	Drgania działające przez kończyny górne	Hałas
Ekspozycja dzienna $A(8)_{WB,dop} = 0,8 \text{ m/s}^2$	Ekspozycja dzienna $A(8)_{HA,dop} = 2,8 \text{ m/s}^2$	Poziom ekspozycji $L_{EX,8h,dop} = 85 \text{ dB}$
Kierunkowa składowa dominująca $a_{w,dop,30min} = 3,2 \text{ m/s}^2$	Maksymalna suma wektorowa $a_{hv,dop,30min} = 11,2 \text{ m/s}^2$	

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 ramach badań prowadzonych w CIOP-PIB opracowano metodę kompleksowej oceny wibroakustycznej jako narzędzia, które ułatwi pracodawcom i zainteresowanym podmiotom spełnienie wymagań polskich rozporządzeń wdrażających postanowienia dyrektywy 2002/44/WE w zakresie ochrony pracowników przed hałasem i drganiami mechanicznymi.

Opis metody kompleksowej oceny wibroakustycznej

Przedstawiona metoda kompleksowej oceny wibroakustycznej ma na celu połączenie aktualnych metod badania narażenia na drgania ogólne, drgania przenoszone przez kończyny górne i hałas w jeden spójny model matematyczny, który umożliwi sumowanie energii poszczególnych czynników. Umożliwia to ocenę ryzyka zawodowego, na które jest narażony pracownik na danym stanowisku pracy. Metoda kompleksowej oceny wibroakustycznej umożliwia również indywidualną ocenę każdego z czynników, bez zaostrzania dotychczasowych wymagań.

Model matematyczny

Wykorzystując dotychczasowe wyniki prac prowadzonych w CIOP-PIB, potwierdzono zasadność sumowania energii wibroakustycznej czynników działających na pracownika.

$$E_{całkowita} = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

gdzie E_i – energia cząstkowa czynnika wibroakustycznego.

Energia drgań i hałasu oddziałujących na pracownika ($E_{całkowita}$) jest proporcjonalna do całkowitej dawki drgań i hałasu ($D_{całkowita}$) na jaką pracownik jest narażony i może być przedstawiona jako suma dawek poszczególnych czynników:

$$D_{całkowita} = D_{WB} + D_{HA} + D_N \quad (2)$$

gdzie:

D_{WB} – dawka pochodząca od drgań działających w sposób ogólny;

D_{HA} – dawka pochodząca od drgań działających przez kończyny górne;

D_N – dawka pochodząca od hałasu;

DRGANIA OGÓLNE

Dawka drgań ogólnych D_{WB} jest wyznaczana dla trzech kierunków pomiarowych (x, y, z) według następujących zależności:

$$D_{WB,x} = \sum_{i=1}^n a_{WB,xi}^2 \cdot t_{WB,i}$$
$$D_{WB,y} = \sum_{i=1}^n a_{WB,yi}^2 \cdot t_{WB,i}$$

$$D_{WB,z} = \sum_{i=1}^n a_{WB,zi}^2 \cdot t_{WB,i}$$

gdzie:

$a_{WB,x,i}, a_{WB,y,i}, a_{WB,z,i}$ – cząstkowe skorygowane przyspieszenia drgań ogólnych w kierunkach:

x, y, z - m/s²;

$t_{WB,i}$ – czas działania cząstkowych przyspieszeń drgań $a_{WB,x,i}, a_{WB,y,i}, a_{WB,z,i}$ - s;

D_{WB} – dawka całkowita pochodząca od drgań ogólnych:

$$D_{WB} = \sum_{i=1}^n a_{WB,i}^2 \cdot t_{WB,i} \quad (3)$$

gdzie:

$$a_{WB,i} = \sqrt{(1,4 \cdot a_{WB,x,i})^2 + (1,4 \cdot a_{WB,y,i})^2 + a_{WB,z,i}^2} \quad (4)$$

DRGANIA MIEJSCOWE

Analogicznie jak w przypadku drgań ogólnych, dawki drgań pochodzące od drgań działających przez kończyny górne D_{HA} obliczane są według wzorów:

$$D_{HA,z} = \sum_{i=1}^n a_{HA,xi}^2 \cdot t_{HA,i}$$

$$D_{HA,y} = \sum_{i=1}^n a_{HA,yi}^2 \cdot t_{HA,i}$$

$$D_{HA,x} = \sum_{i=1}^n a_{HA,zi}^2 \cdot t_{HA,i}$$

$a_{HA,xi}, a_{HA,yi}, a_{HA,zi}$ – cząstkowe ważone przyspieszenia drgań miejscowych w kierunkach:

x, y, z - m/s²;

$t_{HA,i}$ – czas działania cząstkowych przyspieszeń drgań $a_{HA,xi}, a_{HA,yi}, a_{HA,zi}$ - s;

D_{HA} – dawka całkowita pochodząca od drgań miejscowych:

$$D_{HA} = \sum_{i=1}^n a_{HA,i}^2 \cdot t_{HA,i} \quad (5)$$

gdzie:

$$a_{HA,i} = \sqrt{a_{HA,xi}^2 + a_{HA,yi}^2 + a_{HA,zi}^2} \quad (6)$$

HAŁAS

Całkowita dawka hałasu jest proporcjonalna do poziomu dziennej ekspozycji $L_{EX,8h}$:

$$D_N \sim L_{EX,8h}$$

gdzie współczynnik $L_{EX,8h}$ obliczany jest według wzoru:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \cdot \lg \frac{T_e}{T_o} \quad (7)$$

gdzie:

T_e – czas ekspozycji na hałas w ciągu dnia roboczego – s;

T_o – czas odniesienia 28 800 s (8 godzin);

L_{Aeq,T_e} – równoważny poziom dźwięku A – dB:

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_A(t)}{p_o} \right)^2 dt \right] \quad (8)$$

gdzie:

$p_A(t)$ – ciśnienie akustyczne skorygowane charakterystyką częstotliwościową A – Pa

p_o – ciśnienie akustyczne odniesienia równe $2 \cdot 10^{-5}$ Pa;

METODA KOMPLEKSOWEJ OCENY WIBROAKUSTYCZNEJ

Na podstawie dotychczasowych badań prowadzonych w CIOP-PIB opracowano wskaźnik $K_{D,A}$, który umożliwia ocenę łącznego oddziaływania drgań i hałasu, z uwzględnieniem nieliniowej reakcji organizmu człowieka na działanie powyższych czynników wibroakustycznych:

$$K_{D,A} = m + \log \left(\sum 10^{K_b^2 - m} \right) \quad (9)$$

gdzie:

K_D – dawka czynnika wibroakustycznego występująca na stanowisku pracy wyrażona jako krotności wartości dopuszczalnych:

$$K_{D,WB} = \frac{D_{WB}}{D_{WB,dop}} \text{ – dawka drgań o działaniu ogólnym};$$

$$K_{D,HA} = \frac{D_{HA}}{D_{HA,dop}} \text{ – dawka drgań działających przez kończyny górne};$$

$$K_{D,N} = \frac{D_N}{D_{N,dop}} \text{ – dawka hałasu};$$

$m = \max(K_{D,WB}^2, K_{D,HA}^2, K_{D,N}^2)$ – maksymalna wartość dawki pojedynczego czynnika podniesionego do kwadratu;

Wartość m służy do kontrolowania, czy któraś z analizowanych dawek nie jest znacznie większa od pozostałych. Oznaczałoby to dominujący wpływ jednego z czynników. Jeśli wartość m jest znacznie większa od pozostałych (np. różnica ≥ 3 względem każdego z nich), to wartości pozostałych dawek czynników wibroakustycznych będą pomijalnie małe (w przybliżeniu ta formuła odpowiada największemu z kwadratów):

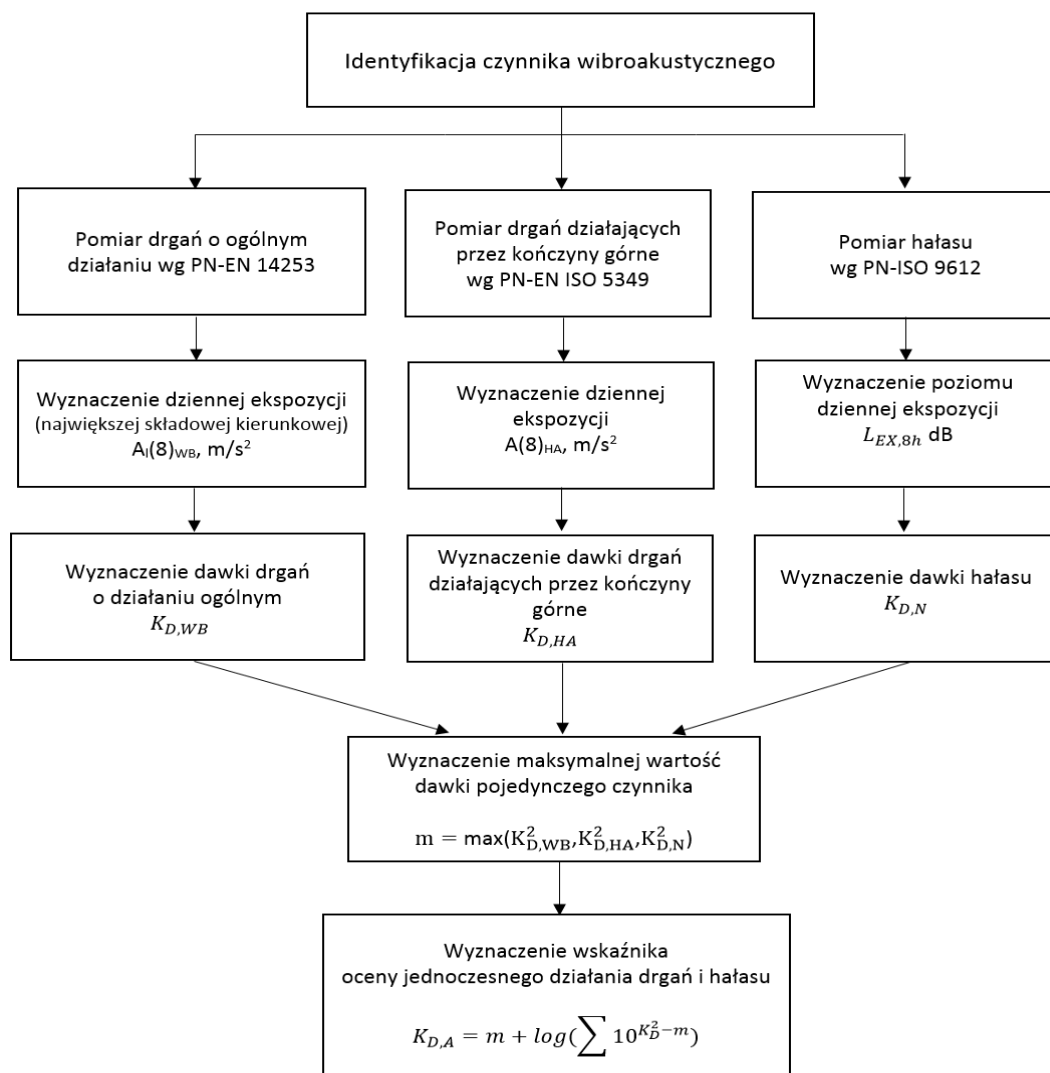
$$K_{D,A} \approx m$$

W przypadku gdy pozostałe składniki dawek mają wartości zbliżone do m , wtedy pełnią one funkcję korekcji. W tabeli 2 przedstawiono przykładowe korekty wyznaczonej dawki $K_{D,A}$.

Tabela 2. Przykładowe korekty wyznaczonych dawek drgań i hałasu

$K_{D,WB}$	$K_{D,HA}$	$K_{D,N}$	m	$K_{D,A}$
5	2	1	25	$25 + \log(10^0 + 10^{-21} + 10^{-24}) \approx \mathbf{25}$
2	2	1	4	$4 + \log(10^0 + 10^0 + 10^{-3}) = 4 + \log(2,001) \approx \mathbf{4,301}$
0,5	0,6	0,7	0,49	$0,49 + \log(10^{-0,24} + 10^{-0,13} + 10^{-0}) \approx \mathbf{0,85}$

Wykorzystanie wzoru ma sens przede wszystkim wtedy, gdy wartości $K_{D,WB}$, $K_{D,HA}$ i $K_{D,N}$ są mniejsze od 1, co jest równoznaczne z tym, że drgania (działające w sposób ogólny oraz przez kończyny górne) i hałas nie przekraczają wartości dopuszczalnych dotyczących oddzielnego działania tych czynników. W przypadku, gdy na stanowisku pracy natężenie któregoś z czynników wibroakustycznych przekroczy wartość dopuszczalną, praca na nim powinna zostać wstrzymana do czasu obniżenia narażenia do poziomu akceptowalnego. Sposób postępowania przy ocenie ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy według metody kompleksowej oceny wibroakustycznej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat oceny ryzyka zawodowego wg metody kompleksowej oceny wibroakustycznej

Ocena ryzyka – kryteria

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

$$0 < K_{D,A} \leq 0,5 - \text{ryzyko małe}$$

$$0,5 < K_{D,A} \leq 1 - \text{ryzyko średnie}$$

$$K_{D,A} > 1 - \text{ryzyko duże}$$

Na podstawie przyjętych kryteriów, $K_{D,A} < 1$ oznacza ryzyko średnie (akceptowalne). Dodatkowo $K_{D,A} < 1$ oznacza brak przekroczeń dopuszczalnych dla któregokolwiek z czynników (drgania ogólne, miejscowe, hałas).

Wartości $K_{D,A} > 1$ świadczą o tym, że ryzyko zawodowe jest duże (nieakceptowalne), jednak nie musi to oznaczać przekroczenia wartości dopuszczalnych wszystkich czynników

wibroakustycznych. Może to wskazywać np. na duże natężenie działania kilku czynników jednocześnie.

Badania i wyniki

W celu sprawdzenia metody kompleksowej oceny wibroakustycznej wykonano jednoczesne pomiary drgań działających w sposób ogólny, przez kończyny górne oraz hałasu na wybranych 9 stanowiskach pracy (rys. 2). Na ich podstawie obliczono wartości krotności przekroczenia wartości dopuszczalnych oraz ocenę ryzyka zawodowego. Wybór stanowisk podyktowany był wartością wyznaczonej krotności wartości NDN – wybrano te stanowiska, dla których wartość NDN była mniejsza od 1 dla wszystkich trzech czynników: drgań działających w sposób ogólny, drgań działających przez kończyny górne i hałasu.



Rys. 2. Badane stanowiska pracy

W tabeli 3 zestawiono wyniki oceny ryzyka zawodowego przeprowadzonej dla wspomnianych stanowisk, wyznaczonych na podstawie krotności przekroczenia wartości dopuszczalnych na poszczególne czynniki wibroakustyczne traktowane osobno oraz oszacowanego metodą kompleksowej oceny wibroakustycznej.

Tabela 3. Ocena ryzyka zawodowego na zbadanych stanowiskach pracy

Obiekt badań	Drgania i hałas oddzielnie		Metoda kompleksowej oceny wibroakustycznej	
	maksymalna krotność przekroczenia wartości dopuszczalnej $\max(k_{r,WB}, k_{r,HA}, k_{r,N})$	Ryzyko zawodowe	wskaźnik oceny jednoczesnego działania drgań i hałasu $K_{D,A}$	Ryzyko zawodowe
Stanowisko 1 – operator wózka przemysłowego	0.59	<i>średnie</i>	0.68	<i>średnie</i>
Stanowisko 2 – operator mobilnego systemu RTG	0.50	<i>małe</i>	0.60	<i>średnie</i>
Stanowisko 3 – kierowca samochodu ciężarowego	0.51	<i>średnie</i>	0.66	<i>średnie</i>
Stanowisko 4 – sternik łodzi policyjnej	0.48	<i>małe</i>	0.61	<i>średnie</i>
Stanowisko 5 – operator ciągnika	0.70	<i>średnie</i>	0.81	<i>średnie</i>
Stanowisko 6 – operator kombajnu	0.70	<i>średnie</i>	0.81	<i>średnie</i>
Stanowisko 7 – operator wózka przemysłowego Toyota, model OSE250	0.91	<i>średnie</i>	1.09	<i>duże</i>
Stanowisko 8 – operator mobilnego urządzenia RTG na platformie podwozia Volvo FM 62TR	0.34	<i>małe</i>	0.54	<i>średnie</i>
Stanowisko 9 – sternik jednostki pływającej	0.14	<i>małe</i>	0.49	<i>małe</i>

Podsumowanie i wnioski

W przypadku stanowisk: 2, 4 i 8, na których ryzyko zawodowe zostało oszacowane jako *małe* w odniesieniu do drgań i hałasu oddzielnie, po zastosowaniu metody kompleksowej oceny wibroakustycznej zostało ono ocenione jako *średnie*. W 5 przypadkach (Stanowiska: 1, 3, 5, 6, 9) zastosowanie wskaźnika oceny łącznej nie wpłynęło ostatecznie na ocenę ryzyka zawodowego. W jednym przypadku, na Stanowisku 7, ocena ryzyka zmieniła się na *duże* (nieakceptowalne).

Różnice te potwierdzają, że w przypadku działania kilku czynników wibroakustycznych jednocześnie, wyniki oceny ryzyka uzyskane przy użyciu opracowanej metody oceny łącznej wykażą zawsze większe narażenie niż w przypadku określania ryzyka na podstawie tylko jednego czynnika, ale nie zawsze prowadzi to do ostatecznej zmiany oceny ryzyka.

Na podstawie analiz wyników badań przeprowadzanych w CIOP-PIB potwierdzono zasadność jednoczesnej oceny ryzyka na drgania ogólnie, drgania działające przez kończyny górne oraz hałas.