

Przegląd kryteriów oceny infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku zawodowym i pozazawodowym

Infrasound and low frequency noise assessment at workplaces and environment – review of criteria

Krystyna Pawlas^(a, b, c), Natalia Pawlas^(a, b, c), Marta Boroń^(a, c), Piotr Szłapa^(a, c),
Jolanta Zachara^(a, c)

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu. Dyrektor: dr n. med. P.Z. Brewczyński

^(a) koncepcja i opracowanie założeń

^(b) opracowanie tekstu

^(c) pozostałe prace

STRESZCZENIE

Wzrasta liczba antropogenicznych źródeł infradźwięków w środowisku, rośnie zatem też ekspozycja i zwiększa się liczba osób ekspozowanych na ten hałas. Jednym z problemów jest opracowanie kryteriów oceny tego hałasu. Przedmiotem pracy jest przegląd i ocena istniejących polskich i zagranicznych kryteriów oceny hałasu niskoczęstotliwościowego w miejscu pracy i bytowania człowieka

Słowa kluczowe: infradźwięki, hałas niskoczęstotliwościowy, ocena ekspozycji zawodowej, ocena ekspozycji w środowisku

ABSTRACT

Infrasound and low frequency noise assessment at workplaces and environment - review of criteria

Number of anthropogenic sources of infrasounds and low frequency noise is increasing, therefore it is followed by both increasing exposure level and number of persons exposed to this noise. Criteria of low frequency noise assessment is one of the problem needed to be solved. The paper presents existing polish and international criteria of assessment low frequency noise at workplaces and human settings.

Key words: infrasound, low frequency noise, occupational exposure assessment, assessment of environmental exposure

WPROWADZENIE

Mimo, że badania poświęcone wpływowi hałasu na zdrowie mają długą historię, wciąż pojawiają się nowe problemy do rozwiązania. Ostatnio zainteresowanie naukowców skupiło się na hałasie infradźwiękowym i niskoczęstotliwościowym z uwagi na to, że wzrasta liczba antropogenicznych źródeł infradźwięków w środowisku. Rośnie zatem ekspozycja i zwiększa się liczba osób ekspozowanych na ten hałas.

Infradźwiękami historycznie określano dźwięki o częstotliwości poniżej 16 Hz, niesłyszalne dla czło-

wieka. Obecnie najczęściej infradźwiękami określa się dźwięki o częstotliwości do 20 Hz, a biorąc pod uwagę, że wyznaczono próg słyszenia człowieka aż do częstotliwości 1,5 Hz, to określanie ich dźwiękami niesłyszalnymi jest błędne [1, 2]. Hałasem infradźwiękowym, według polskiej normy, jest hałas, którego widmo jest zawarte w paśmie częstotliwości od 1 do 20 Hz (wg wersji polskiej normy z 1986 hałas infradźwiękowy obejmował zakres do 50 Hz) [3, 4], podobnie jak w normach Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (International Standard Organization), ISO 7196:1995, ISO 9612:1997 [5, 6].

Natomiast hałas niskoczęstotliwościowy nie ma przyjętej definicji. W piśmiennictwie podawane są różne wartości górnej granicy dla tego hałasu. Najczęściej hałasem niskoczęstotliwościowych określa się za Leventhall'em [7], hałas z przedziału 10–200 Hz, wg Threshold Limits Values ACGIH (2010) infradźwięki i hałas niskoczęstotliwościowy to hałas z przedziału 1–80 Hz, a według innych badaczy nawet też do 100 czy 250 Hz, a nawet do 500 Hz [8–11]. W Polsce w odniesieniu do hałasu niskoczęstotliwościowego stosuje się propozycję Leventhalla.

Infradźwięki i dźwięki o niskich częstotliwościach są wytwarzane przez grzmoty, lawiny, tornada, zorzę polarną, wulkany, trzęsienia ziemi, wodospady, wiatry, wzburzone morze i wiele innych, ale są też generowane przez niektóre gatunki zwierząt, np. słonie, żyrafy, okapi, wieloryby i aligatory celem komunikowania się na odległość wielu kilometrów. Według Stepanowa (2001) poziom stałego średniego naturalnego tła infradźwięków w paśmie częstotliwości 0,02–1 Hz wynosi 35–40 dB. Podczas sztormów i tsunami poziom infradźwięków mierzony sięga 140–145 dB [12]. Także człowiek podczas ruchu wytwarza infradźwięki czasem o dość znacznych poziomach jak np. podczas biegu – ponad 90 dB, podczas huśtania na huśtawce do 110 dB (częstotliwość ok. 0,5 Hz), czy podczas pływania ponad 100 dB, a nawet 140 dB dla częstotliwości poniżej 2 Hz [13, 14].

Najważniejszymi źródłami infradźwięków pochodzenia antropogenicznego są: lotnictwo, ciężki transport drogowy, silniki rakietowe, sprężarki tłokowe, młoty kuźnicze, wentylatory przemysłowe sprężarki, elektrownie wiatrowe i wiele innych. Towarzyszą wybuchom i eksplozjom. Poważnym źródłem infradźwięków mogą być także zrzuty mediów energetycznych w zakładach przemysłowych oraz elektrownie ciepłownicze i wodne. Hałas infradźwiękowy w przemyśle jest znacznie różnicowany, osiągając poziomy przekraczające nawet 110 dB [14a]. Badania wykazały też znaczną ekspozycję na hałas niskoczęstotliwościowy i infradźwiękowy kierowców pojazdów i w pociągach, gdzie poziomy dochodzą do 120 dB, w helikopterach – od 115 dB do 150 dB [15, 16]. W ostatnim czasie coraz większym utrapieniem mieszkańców są samochody wyposażone w głośne systemy stereo odtwarzające muzykę z ekstremalnie dużą zawartością basów (tzw. boom cars). W przypadku pojazdów typu *boom car* poziomy hałasu wewnątrz samochodu znacznie przekraczają 100 dB, a według doniesień sięgają nawet poziomów rzędu 170 dB [16, 17].

Infradźwięki są także wytwarzane przez sprzęt domowy jak np. klimatyzatory, lodówki, czy pralki. Infradźwięki i dźwięki o niskiej częstotliwości są niezwykle istotne w muzyce dla podkreślenia czy

wytworzenia odpowiedniego nastroju, w szczególności są wykorzystywane w ścieżkach dźwiękowych horrorów i filmach *science fiction* [9]. Według mitów były też próby wykorzystywania infradźwięków w broni akustycznej, choć w rzeczywistości broń akustyczna była i jest oparta o wyższe częstotliwości [18].

Infradźwięki są falami długimi, słabo tłumionymi w powietrzu, dlatego rozchodzą się na znaczne odległości. Na przykład, w powietrzu poziom energii fali infradźwiękowej o częstotliwości 10 Hz zmniejsza się tylko o ok. 0,1 dB na kilometr, a ich przykładowe długości są podane w tabeli I.

Tab. I. Długość fal infradźwiękowych i niskoczęstotliwościowych w powietrzu

Tab. I. Length of infrasound and low-frequency sound waves in the air

Częstotliwość w Hz	0,1	1	20	200	250	500	1000
Długość w m	3429	342,9	17	1,7	1,36	0,68	0,34

Przykładem tych właściwości jest najślynniejsze zjawisko generacji infradźwięków, jakie miało miejsce w historii, był to wybuch wulkanu Krakatoa w 1883 roku. Wytworzona wówczas fala dźwiękowa o częstotliwości 0,1 Hz po okrążeniu Ziemi straciła zaledwie 0,5% energii.

Także ze względu na duże długości fal infradźwiękowych, ekrany akustyczne i inne tradycyjne przeszkody są mało skuteczne w tłumieniu tych fal, a rozchodzeniu się fal z tego zakresu częstotliwości mogą towarzyszyć takie zjawiska, jak wytwarzanie w pewnych warunkach fali stojącej czy wywoływanie rezonansu. Zjawisko rezonansu w wielkowymiarowych przestrzeniach zamkniętych, pomieszczeniach, elementach konstrukcyjnych lub całych obiektach, jest powodem znacznej uciążliwości na stanowiskach pracy, a zwłaszcza w budynkach mieszkalnych zlokalizowanych w sąsiedztwie zakładów przemysłowych ze źródłami hałasu niskoczęstotliwościowego, dróg z ciężkim taborem samochodowym, czy farm wiatrowych. Zjawisko to jest notowane nawet w budynkach odległych o kilkaset i więcej metrów od źródeł takiego hałasu [9].

Hałas infradźwiękowy wywołuje zarówno wrażenia słuchowe jak i pozasłuchowe. Skutki zależą przede wszystkim od poziomu tego hałasu, czasu i miejsca ekspozycji oraz pory doby. W środowisku pozazawodowym dominujący efektem jest przede wszystkim uciążliwość jaką wywołuje, może powodować też zaburzenia snu i koncentracji, rozdrażnienie, a przy dłuższej ekspozycji uczucie zmęczenia, senność czy obni-

zenia zdolności wykonywania pracy o charakterze umysłowym. Działanie uciążliwe występuje już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Uciążliwość hałasu niskoczęstotliwościowego jest szczególnie odczuwalna w środowisku komunalnym [9]. W środowisku zawodowym, choć poziomy ekspozycji w warunkach zawodowych są wyższe niż w środowisku bytowania, efekty są podobne, co jest szczególnym problemem na stanowiskach pracy wymagających koncentracji uwagi i refleksu oraz pracy umysłowej, jak na przykład na stanowiskach pracy biurowej, stanowiskach kierowców pojazdów, czy operatorów urządzeń sterowniczych. Przy skrajnie wysokich poziomach powyżej 150 dB hałas infradźwiękowy może wywoływać rezonans narządów wewnętrznych, powodować ból w uszach, przerwanie błony bębenkowej, nudności zaburzenia równowagi. Jednakże poza badaniami laboratoryjnymi praktycznie nie ma prac, które by prezentowały efekty zdrowotne w zależności od częstotliwości. Szczegóły dotychczasowych badań w różnych środowiskach i warunkach ekspozycji są przedstawione w pracach następujących autorów: Berglund B. i in., Pawlas K., Leventhall G. i in., Colby W.D. i in., Knopper LD., Kaczmarska A. i in, oraz Pawlaczyk-Łuszczynska M. [9, 19 -24]. Trzeba jednakże dodać, że podobne zdrowotne skutki, jak po ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy, występują także po ekspozycji na hałas słyszalny.

W przypadku zmian wywoływanych w narządzie słuchu prowadzono liczne prace wyznaczające próg słyszenia w zależności od częstotliwości, pewna liczba prac była poświęcona rozwojowi czasowego przesunięcia progu słuchu w zależności od częstotliwości, i niewiele prac było poświęconych rozwojowi trwałych ubytków słuchu. Jednak trwałe ubytki słuchu były stwierdzane, gdy ekspozycji na infradźwięki towarzyszył hałas słyszalny. Ubytki wówczas były rozleglejsze i głębsze [25].

Przeprowadzone dotychczas prace, zwłaszcza związane z aeronautyką, pozwoliły ustalić progi pułapowe dla hałasu infradźwiękowego i niskoczęstotliwościowego, zapobiegając poważnym skutkom pozasłuchowym i chroniące słuch przed ostrym urazem akustycznym. Badanie te nie odpowiedziały na pytanie, czy zmiany słuchu po długotrwałej ekspozycji na niższe poziomy przebiegają inaczej niż dla hałasu słyszalnego i będą wymagały ustanowienia innych wartości NDN dla ochrony słuchu i zdrowia dla tego pasma niż te ustanowione dla hałasu słyszalnego.

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały, że do oceny hałasu niskoczęstotliwościowego stosowanie charakterystyki częstotliwościowej A, jaka jest używana przy pomiarach hałasu słyszalnego, nie jest najtrafniejsze. Dotyczy to w szczególności w przy-

padku dominującego udziału hałasu niskoczęstotliwościowego w widmie hałasu, niezależnie czy dotyczy jest to ekspozycja zawodowa czy pozazawodowa [26–28].

PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH DOPUSZCZALNYCH WARTOŚCI DLA INFRADŹWIĘKÓW I HAŁASU NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO W POLSCE I W INNYCH KRAJACH

Ograniczenia ekspozycji na hałas opracowywane są odrębnie dla środowiska bytowania, a odrębnie dla środowiska pracy z uwagi na inne potrzeby ochrony zdrowia w tych dwóch środowiskach. W środowisku pracy ekspozycja jest ograniczona najczęściej do 8 godzin, populacja cieszy się dobrym stanem zdrowia, które ponadto jest systematycznie monitorowane w sposób celowany. W środowisku bytowania czas ekspozycji jest wydłużony często do 24 godzin na dobę. Efekty ekspozycji są także modyfikowane porą doby. Wieczorem i w nocy reagujemy ostrzej, w dzień reakcje są stępione, jest większa tolerancja dla hałasu. Skutki zdrowotne ponadto są modyfikowane przez cechy osobnicze, porą doby i rodzaj aktywności. W warunkach pozazawodowych oprócz osób cieszących się zdrowiem, na hałas eksponowane są nie tylko osoby dorosłe i zdrowe, ale populację tworzą i dzieci w różnym wieku i osoby starsze, jak i osoby chore, o różnego rodzaju schorzeniach i różnym stopniu i rodzaju niepełnosprawności. Zdrowie tej populacji nie jest monitorowane, a informacje o skutkach zdrowotnych pochodzą z badań naukowych.

Dopuszczalne wartości ekspozycji na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy na stanowiskach pracy

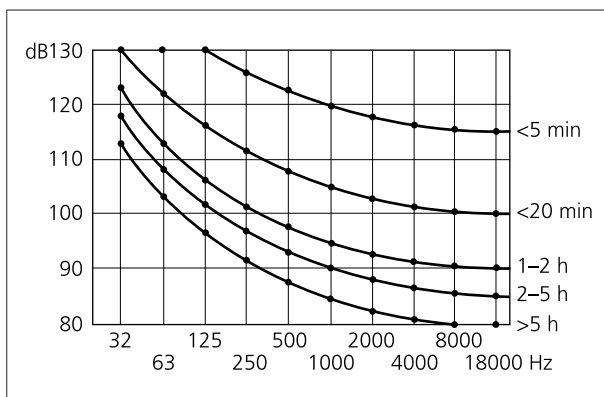
Do tej pory kryteria oceny ekspozycji zawodowej na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy zostały opracowane zaledwie w kilku krajach. Pierwsze kryteria oceny zawodowej ekspozycji na infradźwięki pojawiły się pod koniec lat 70. ubiegłego wieku, m.in. w Szwecji (1979) i Związku Radzieckim (1980) [19]. W Niemczech norma DIN 45 680 definiuje ekspozycję na hałas niskoczęstotliwościowy bez podania wartości dla ekspozycji zawodowej. Według tej normy ekspozycję zalicza się jako ekspozycję na hałas niskoczęstotliwościowy jeśli różnica w poziomach dźwięku z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowej C i charakterystyki częstotliwościowej A wynosi co najmniej 20 dB [29].

American Conference Governmental Industrial Hygienists opracowała po raz pierwszy wytyczne

ograniczające poziomy ekspozycji na hałas infradźwiękowy w 1998 roku nie zmieniając ich do tej pory. W Thresholds Limits Values of American Conference of Governmental Industrial Hygienists zaleca się od lat, aby poziom ciśnienia w każdym paśmie tercjowym w zakresie częstotliwości 1–80 Hz nie przekraczał 145 dB, a poziom całkowity nieskorygowany częstotliwościowo – wartości 150 dB bez określenia czasu trwania ekspozycji i z zastrzeżeniem, że nie dotyczy to hałasu impulsowego. Zawarta jest też uwaga, że jeśli podczas ekspozycji na hałas o częstotliwościach 50–60 Hz pojawi się rezonans całego ciała, to można obniżyć poziom powodujący zjawisko dyskomfortu i uciążliwości. Zalecenia te nie dotyczą hałasu impulsowego [8].

We Francji od 1992 roku ocenę opierano o pracę Pimonowa z 1972 roku, ale jak do tej pory nie ustanowiono żadnych przepisów w tym zakresie. W 2006 roku Chatillon z Krajowego Instytutu ds. Badań i Bezpieczeństwa (Institute National Recherche et de Sécurité – INRS Departement Ingenierie des equipments de travail) zaproponował, w oparciu o przegląd bibliograficzny, ograniczenia ekspozycji zawodowej do wartości poziomu dźwięku G wynoszącej 102 dB G w przypadku hałasu ciągłego trwającego 8 godzin, a w przypadku hałasu impulsowego do 145 dB [19, 30].

Według zalecenia Służby Bezpieczeństwa i Higieny Pracy Nowej Zelandii z 2002 [31] oraz Federalnej Komisji ds. Koordynacji Bezpieczeństwa Pracy ze Szwajcarii z 2012 [32] nie ma ograniczeń na ekspozycję na infradźwięki w miejscu pracy, choć instytucje zajmujące się bezpieczeństwem zdrowia w miejscu pracy w obu tych krajach kiedyś takie ograniczenia zalecały [19, 30]. Kryteria szwedzkie z 1972 roku SEN 590111 [33] ograniczające ekspozycję na hałas w pasmach oktawowych jak to jest pokazane na rycinie nr 1.



Ryc. 1. Dopuszczalne poziomy natężenia dźwięku na stanowiskach pracy wg SEN 590111

Fig. 1. Permissible sound levels at workplaces according to SEN 590111

Brytyjski Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) proponuje poziomy przedstawione w tabeli II [34].

Tab. II. Proponowane kryteria oceny infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego

Tab. II. Proposed criteria for infrasounds and low frequency noise

Częstotliwość w Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Poziom w dB L_{eq}	92	87	83	74	64	56	49	43	42	40	38	36	34

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO w normie 7196 z 1995 roku zaleca do pomiaru i oceny infradźwięków w zakresie częstotliwości 1–20 Hz zastosowanie charakterystyki częstotliwościowej G, opartej na percepcji słuchowej infradźwięków [35].

W Polsce pierwsze dopuszczalne wartości hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy zostały ustalone na podstawie wyników badań prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy i Akademii Medycznej w Warszawie [36]. Zawarto je w Polskiej Normie PN-N-01338:1986 [43], a następnie w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1989 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [37].

Do oceny 8-godzinnej ekspozycji na hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy przyjęto jako wartość NDN poziomy ciśnienia akustycznego 110 dB w pasmach oktawowych o częstotliwościach środkowych 4, 8, 16 Hz oraz 100 dB – w pasmie 31,5 Hz. Rozporządzeniem MPiPS z dnia 23 grudnia 1994 r. zawężono ocenę do pasm oktawowych 8÷31,5 Hz [38].

W 2002 roku zmieniono zasady oceny hałasu infradźwiękowego na ocenę z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowej G [39]. Jako wartość dopuszczalną (wartość NDN) przyjęto równoważny poziom dźwięku G odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy równy 102 dB. Jednakże w 2009 r. na wniosek Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych w Środowisku Pracy usunięto z wykazu NDS i NDN wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego [40]. Komisja uznała, że obowiązująca dotychczas wartość NDN hałasu infradźwiękowego stanowi próg percepcji słuchowej infradźwięków i kryteriów uciążliwości, a nie szkodliwości [30]. Obecnie do oceny ekspozycji zawodowej na hałas infradźwiękowy można stosować kryterium uciążliwości określone w Polskiej Normie

PN-Z-01338:2010 [3] (poziom dźwięku G – 102 dB, dla ogółu pracowników, 86 dB – na stanowisku pracy koncepcyjnej).

Dopuszczalne wartości ekspozycji na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy w budynkach mieszkalnych

Wpływ na mieszkańców hałasu zawierającego częstotliwości z zakresu infradźwięków i niskich częstotliwości ma bogate piśmiennictwo. Na podstawie wielu prac powstało szereg przepisów i zaleceń nie zawsze w randze oficjalnych przepisów prawnych, czasami co najwyżej norm.

Dominującymi efektami u osób ekspozowanych na taki hałas wewnątrz budynków jest wywołanie odczucia uciążliwości, zmęczenia, zaburzenia koncentracji i irytacji spowodowanej drganiami elementów konstrukcyjnych budynków, zwłaszcza szyb. Zalecane poziomy nie zawsze zapewniają komfort 100% populacji, najczęściej odsetek 10–20% populacji o szczególnej wrażliwości nie ma zapewnionej pełnej ochrony przed uciążliwością tego hałasu.

Pierwsza propozycja przedstawiona w tabeli III była opracowana przez Vercammena [41].

Tab. III. Propozycja Vercammena dopuszczalnych poziomów dźwięku wewnątrz pomieszczeń [41]

Tab. III. Vercammen's proposal for permissible levels indoor

Parametr mierzony	Dopuszczalny poziom w dzień	Dopuszczalny poziom wieczorem	Dopuszczalny poziom w nocy
L _A – poziom dźwięku A	5 dBA	30 dBA	25 dBA
L _G – poziom dźwięku G	86 dBG	86 dBG	86 dBG
L _{FA} ¹⁾	30 dBA	25 dBA	20 dBA

¹⁾ L_{FA} – poziom dźwięku w paśmie 10 Hz – 160Hz mierzony w pasmach tercjowych i przeliczany wg krzywej ważonej A

W tabeli IV przedstawiono zalecane i dopuszczalne poziomy dla hałasu niskoczęstotliwościowego wewnątrz pomieszczeń propozycje i przepisy z różnych krajów, wg Leventhalla [21].

Jak widać w zależności od częstotliwości różnice w zalecanych poziomach między poszczególnymi krajami są znaczne, w tercjach różnią się do 10 dB i na ogół nie przekraczają wartości progu słyszenia wg ISO 226.1987. Różnią się również zalecanymi procedurami pomiarowymi [43]. W Polsce zalecenia Mirowskiej [42] nigdy nie osiągnęły statusu aktu prawnego, choć są tak traktowane w piśmiennictwie zagranicznym.

Tab. IV. Porównanie zalecanych poziomów dźwięku dla hałasu niskoczęstotliwościowego różnych krajów z krzywą progową równej głośności ISO 226

Tab. IV. Comparison of recommended sound levels for low frequency noise of different countries with ISO 226

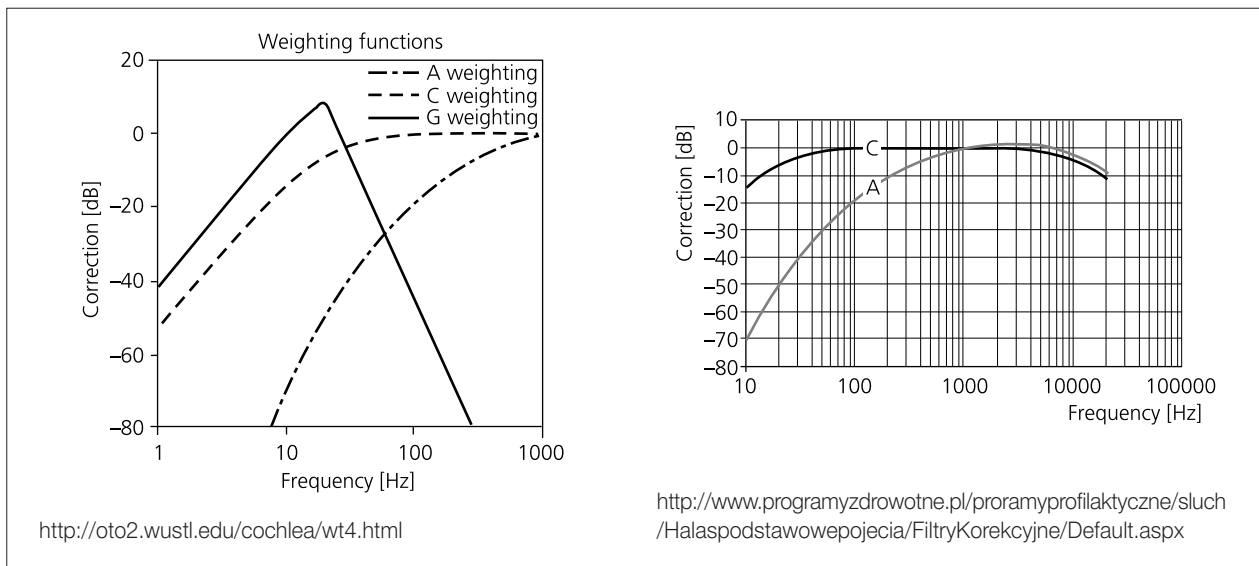
Częstotliwość w Hz	Polska ¹⁾	Niemcy	Holandia	Szwecja	Dania (noc)	ISO 2262)
	L _{A10 n} dB	DIN 45680	NSG dB	dB	dB	dB
8		103				
10	80,4	95			90,4	
12,5	83,4	87			93,4	
16	66,7	79			76,7	
20	60,5	71	74		70,5	74,3
25	54,7	63	64		64,7	65
31,5	49,3	55,5	55	56	59,4	56,3
40	44,6	48	46	49	54,6	48,4
50	40,2	40,5	39	43	50,2	41,7
63	36,2	33,5	33	41,5	46,2	35,5
80	32,5	28	27	40	42,5	29,8
100	29,1	23,5	22	38	39,1	25,1
125	26,1			36	36,1	20,7
160	23,4			34	33,4	16,8
200	20,9				32	13,8
250	18,6					11,2

¹⁾ Propozycja autorska M. Mirowskiej [42]

Dopuszczalne wartości ekspozycji na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy w środowisku bytowania

W zdecydowanej większości krajów nie ma osobnych regulacji dla pasma niskich częstotliwości i infradźwięków, a dopuszczalny zalecany poziom hałasu jest wyznaczany za pomocą charakterystyki częstotliwościowej A. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) [26] wprawdzie przyznaje, że charakterystyka ta jest nieodpowiednia w przypadku hałasu z dużą zawartością składowych niskoczęstotliwościowych, ale nie proponuje innej zastępczej metody oceny takiego hałasu. Jak widać na rycinie 2 stosowana powszechnie do pomiarów i przepisów charakterystyka częstotliwościowa A niedoszacowuje ekspozycje w zakresie niskich częstotliwości i infradźwięków, gdyż znaczenie je wycina.

Proponowana charakterystyka częstotliwościowa G jest słuszna tylko dla zakresu infradźwięków, gdyż dość mocna wycina zakres częstotliwości niskich, i nie obejmuje zakresu słyszalnego, zatem zupełnie tego zakresu nie szacuje. Natomiast charakterystyka częstotliwościowa C w zakresie poniżej 10 Hz jest



Ryc. 2. Przebieg krzywych ważenia częstotliwościowego A, C i G
Fig. 2. Frequency weighting curves A, C and G

zbliżona do charakterystyki G, obejmuje zakres częstotliwości niskich bez wycinania, a w paśmie słyszalnym przebiega podobnie jak krzywa charakterystyka A. Zatem charakterystyka częstotliwościowa C wydaje się być kompromisem w przypadku, gdy hałas zawiera i infradźwięki i hałas niskoczęstotliwościowy i hałas słyszalny, czyli hałas jaki jest realny zarówno w środowisku bytowania jak i w środowisku pracy.

Mimo to WHO w swoich zaleceniach podaje poziom dźwięku A. Wg zaleceń WHO z 1999 roku poziom dźwięku A w nocy powinien być poniżej 30 dB A by uniknąć zaburzeń snu. Według tych zaleceń wskazane są poprawki w przypadku hałasu tonalnego, impulsowego czy niskoczęstotliwościowego z uwagi na zwiększoną uciążliwość tego hałasu jednak bez podania ich wartości [44].

W nowszych zaleceniach Noise Community Guidelines for Europe (NNG) z 2009 roku, WHO proponuje poziom dźwięku A 40 dB A w nocy, jako poziom docelowy, a poziom 55 dB A jako przejściowy, jeśli poziom docelowy nie jest możliwy do osiągnięcia. W NNG brak jest wzmianek o hałasie niskoczęstotliwościowym i infradźwiękowym [45].

Prawodawstwo polskie też nie przewiduje specjalnego traktowania hałasu środowiskowego z infradźwiękami i hałasem niskoczęstotliwościowym. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku są regulowane tym samym rozporządzeniem Ministra Środowiska i tymi samymi wartościami dopuszczalnego poziomu dźwięku A niezależnie od ich składu częstotliwościowego.

W Europie jedynie Dania uwzględniła w zaleceniach odrębną ocenę dla hałasu infradźwiękowego

i niskoczęstotliwościowego w środowisku pozazawodowym.

Duńska Agencja Ochrony Środowiska (Danish Environmental Protection Agency – DEPA) [46] zaleca, aby poziomy ekspozycji na infradźwięki środowiskowe były niższe o 10 dB od progów słyszenia infradźwięków. Według Jakobsen'a skorygowany charakterystyką G próg słyszenia dla osób o szczególnej wrażliwości wynosi 95 dB. DEPA zaleca więc aby średni całkowity poziom skorygowany charakterystyką częstotliwościową G w zakresie częstotliwości do 20 Hz nie przekraczał 85 dB. Kiedy rozpatrywane są poziomy ciśnienia akustycznego skorygowane charakterystyką częstotliwościową G, norma ISO 7196:1995 lub DEPA wskazują, że wartości niższe od 85 dB lub 90 dB będą zawsze poniżej progów percepcji lub uciążliwości.

UWAGI KOŃCOWE

Obecny stan wiedzy w zakresie szkodliwego oddziaływania infradźwięków na organizm człowieka nie pozwala jeszcze ustalić jednoznacznych dopuszczalnych poziomów ekspozycji, ani zawodowej ani środowiskowej. Istniejące przepisy, regulacje i zalecenia są znacznie zróżnicowane między krajami. Opublikowane badania skutków zdrowotnych wywołanych ekspozycją na hałas środowiskowy z zawartością infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego były prawie zawsze oparte o pomiary z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowego A, czyli praktycznie pozbawione informacji o zawartości hałasu niskoczęstotliwościowego.

Badania wpływu infradźwięków na człowieka są nadal bardzo fragmentaryczne zwłaszcza brak jest badań skutków długotrwałej ekspozycji w warunkach poza laboratoryjnych. Dotychczasowe badania nie dały jeszcze odpowiedzi, czy ten zakres wymaga odrębnego traktowania zagrożenia zdrowia w przypadku ekspozycji zawodowej i pozazawodowej, czy wystarczy stosować te same przepisy jak dla hałasu słyszalnego.

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

PIŚMIENNICTWO

- Yeowart NS., Bryan ME., Tempest w., Low frequency noise thresholds. *J. of Sound and Vibration* 1967; 9: 447-453.
- Moller H Pedersen, Hearing at low and infrasonic frequencies *Noise and Health* 2004; 6,23: 37-57.
- Polska Norma PN-Z_01338. 2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy.
- Polska Norma PN-N_01338.1986: Akustyka. Hałas infradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania wykonywania pomiarów.
- ISO 7196:1995, Acoustics – Frequency – weighting characteristic for infrasound measurements.
- ISO 9612:1997, Acoustics – Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in working environment.
- Leventhall G. What is infrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 2007; 93:130-137.
- ACGIH Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®) 2010; 116.
- Berglund B., Hassmen P., Job R.F. Sources and effects of low-frequency noise. *J Acoust Soc Am.* 1996; 99, 5: 2985-3002.
- Castello Branco N.A. The clinical stages of vibroacoustic disease. *Aviat. Space and Environ. Med.*, 1999; 70, 3: 27-31.
- ANSI S12.9-2005/Part 4 American National Standard Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound – Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-term Community Response, Acoustical Society of America, 2005.
- Stepanow V. Biological effects of low frequency acoustic oscillations and their hygienic regulation– final report State Research Center Moskwa 2001 <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA423963> pobrano 10 luty 2013.
- Noble J M., Tenney SM Detection of naturally occurring events from small aperture infrasound arrays <http://www.tornadochaser.net/research/infrasonicdetector.pdf> wersja z dnia 20 08, 2008.
- Leventhall G. What is infrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 93(2007) 130-137.
- Auguścińska D. Infrasonic noise emitted by flow machines, its sources and reduction methods, *Journal of Low Frequency Noise & Vibration*, 1989, (8)1, 9-5.
- Pawlaczyk-Łuszczynska M., Occupational exposure to infrasonic noise in Poland. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1998,17,2, pp. 71-83.
- Kaczmarek-Kozłowska A., Mikulski W., Pleban D., Kozłowski E., Radosz J. Zagrożenie hałasem niskoczęstotliwościowym kierowców środków transportu drogowego, CIOP Warszawa 2010.
- (ASA/NOISE-CON 2000 Daniel Raichel Boom Cars: Noise Pollution at its Worst www.acoustics.org/press/140th/raichel2.htm wersja z 10.02.2013)
- Altmann J., *Acoustic Weapons – A Prospective Assessment.* Science & Global Security, 2001, 9, 165-234.
- Pawlas K., Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – Przegląd piśmiennictwa Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2009;60,2: 27-64.
- Infrasound. Brief Review of Toxicological Literature 2001 http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf , pobrano 07.02 2013).
- Leventhall G., Palmear P., Benton S. A review of Published Research on Low Frequency Noise and Its Effects 2003 http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/4141/1/Benton_2003.pdf
- Colby WD., Dobie R., Lenthall G., Lipscomb D., Cunney R., Seilo M., Sondergaard B., Wind Turbine Sound and Health Effects . An Expert Panel review 2009 http://www.ontario-sea.org/Storage/44/3601_Summary_conclusions_and_bios.pdf
- Knopper LD., Ollson CA Health effects and wind turbines: a review of the literature. *Environmental health* 2011; 10, 78: 1-10.
- Kaczmarek-Kozłowska A., A study of annoyance caused by low – frequency noise during mental work, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2007, (13) 2, 117-125.
- Pawlaczyk-Łuszczynska M., Ocena uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku pracy oraz jego wpływ na funkcje umysłowe. Rozprawa habilitacyjna wyd. IMP Łódź 2010.
- Mahendra Prashanth KV, Venugopalachar S. The possible influence of noise frequency components on the health of exposed industrial workers – A review. *Noise Health* 2011; 13: 16-25.
- Berglund B, Lindvall T, Guidelines for community Noise, WHO, 1999.
- Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz a., Waszkowska M., Śliwińska-Kowalska M Assessment of annoyance from low frequency and broadband noise *Int J Occupa Med Environ health* (2003). 16, 4 337-343.
- Takahashi Y., Harada N., A consideration of an evaluation index for high –level low-frequency noise by taking into account the effect of human body vibration *J Low Freq. Noise Vibration&Active Control*26 (1) 2007,15-27.
- DIN 45680, 1997, “Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft” (Measurement and assessment of low-frequency noise immissions in the neighbourhood).
- Auguścińska D. Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa *PiMOŚP nr* 2(60), 2009,5 – 15.
- Approved Code of Practice for the Management of Noise in the Workplace 2002 <http://www.osh.dol.govt.nz/order/catalogue/pdf/noise2a-ac.pdf>

32. SECO – Wegleitung zum Arbeitsgesetz und den Verordnungen 3 und 4, 2012 <http://www.ekas.admin.ch/index-de.php?frameset=40>
33. Storm R Health risk due to exposure of low frequency noise. (Praca licencjacka) Orebro University 2009.
34. Documents of Health Protection Agency. Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound RCE-14, DEFRA 2010.
35. ISO 7196: 1995 Acoustic. Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements.
36. Konarska M., Pochrzęst B., Działanie infradźwięków na organizm w zależności od ich natężenia, częstotliwości i czasu ekspozycji w Augustyńska D., Hałas infradźwiękowy w środowisku pracy. Materiały z seminarium. Materiały do Studiów i Badań, CIOP. Warszawa, 1982; 62: 19-30.
37. Rozporządzenie ministra pracy i polityki socjalnej z dnia 1 grudnia 1989 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. nr 69, poz. 417.
38. Rozporządzenie MP i PS z dnia 23 grudnia 1994 r zmieniające Rozporządzenie w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku Dz. U nr 3 z dnia 16 stycznia 1995 r.
39. Rozporządzenie MP i PS z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku Dz.U. 217 poz. 1833.
40. Rozporządzenie MP i PS z dnia 16 czerwca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku Dz.U. 105 poz. 873.
41. Vercammen R.N. Setting limits for low frequency noise. J. Low Freq. Noise. Vibr. 1992;11: 7-13.
42. Mirowska M. Evaluation of low frequency noise in dwellings. New Polish recommendation. J. Low Freq. Noise Vibr.2001; 20, 119-126.
43. ISO 226. 1987 Normal equal-loudness level contours
44. WHO Guidelines for Community Noise <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Commnoise4.htm> <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/print.html>
45. Night Noise Guidelines for Europe. WHO 2009.
46. Jakobsen J. Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration. J Low Freq, Noise Vibr, 2001; 20: 141-148.

*Adres do korespondencji**Krystyna Pawlas**Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego**41-200 Sosnowiec, Kościelna 13**e-mail: k.pawlas@imp.sosnowiec.pl*