

doc. dr inż. DANUTA AUGUSTYŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa
ul. Czerniakowska 16

Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa*

Słowa kluczowe: infradźwięki, źródła, percepcja, skutki fizjologiczne ekspozycji, wartości graniczne, zalecenia.

Key words: infrasounds, sources, perception, physiological effects of exposure, limit values, recommendation.

W publikacji przedstawiono analizę piśmiennictwa dotyczącego proponowanych wartości granicznych ekspozycji na infradźwięki, głównie w środowisku pracy, poprzedzoną krótkimi informacjami nt. źródeł infradźwięków, ich propagacji, percepcji i skutków fizjologicznych.

Analiza wykazała, że brak jest przepisów prawnych europejskich i międzynarodowych w tym zakresie.

Wielu autorów proponuje w formie zaleceń różne wartości poziomów uznawanych za uciążliwe lub niebezpieczne. Wartości te różnią się z powodu przyjęcia różnych charakterystyk korekcyjnych, różnych zakresów częstotliwości i różnych czasów ekspozycji. Wynika to z faktu, że obecny stan wiedzy w zakresie szkodliwego oddziaływania infradźwięków na człowieka nie pozwala na ustalenie jednoznacznych granicznych wartości ekspozycji.

WPROWADZENIE

Z fizycznego punktu widzenia infradźwięki to drgania i fale akustyczne o częstotliwościach zawartych w granicach 0,1 ÷ 20 Hz, natomiast w świetle istniejących norm (ISO 7196:1995, ISO 9612:1997) to dźwięki lub hałas, którego widmo jest zawarte głównie w paśmie częstotliwości od 1 do 20 Hz.

* Opracowano na podstawie: *J. Chatillon* (2006) *Limites d'exposition aux infrasons et aux ultrasons – Etude bibliographique. Hygiène et sécurité du travail, Cahiers de notes documentaires, INRS, 2^{ème} trimestre 203.*

Źródła infradźwięków występujących w środowisku są dwójakiego pochodzenia: naturalnego (niektóre zjawiska przyrody) i sztucznego (maszyny i inne urządzenia). W odniesieniu do infradźwięków sztucznego pochodzenia, którym nieodłącznie towarzyszy hałas zawierający składowe o niskich częstotliwościach słyszalnych, stosowane jest pojęcie hałas infradźwiękowy. Zgodnie z normą PN-N-01338:1986 hałasem infradźwiękowym przyjęto nazywać hałas, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych od 2 Hz i o niskich częstotliwościach słyszalnych do 50 Hz. W nowym projekcie PN-N-01338 (norma w ustanowieniu) hałasem infradźwiękowym określa się hałas, którego widmo jest zawarte w paśmie częstotliwości $1 \div 20$ Hz. Obecnie coraz powszechniej jest używane pojęcie „hałas niskoczęstotliwościowy” obejmujący zakres częstotliwości od około 10 do 250 Hz (niekiedy do 500 Hz).

Badania nad uciążliwością i szkodliwością infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego są prowadzone od wielu lat i wielu autorów za uciążliwe lub niebezpieczne dla człowieka przyjmuje różne wartości ich poziomów.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono przegląd bibliograficzny dotyczący proponowanych wartości granicznych ekspozycji na infradźwięki, głównie w środowisku pracy, poprzedzony krótkimi informacjami nt. źródeł infradźwięków, ich propagacji, percepcji i skutków fizjologicznych.

ŹRÓDŁA INFRADŹWIĘKÓW

Rozróżnia się naturalne i sztuczne źródła infradźwięków. Źródłami naturalnymi są gwałtowne ruchy powietrza (wiatr, burze o poziomach ciśnienia akustycznego do 135 dB i prędkości wiatru do 100 km/h), szybkie zmiany ciśnienia atmosferycznego (o częstotliwości < 1 Hz i poziomie 100 dB), ruchy wody (fale oceaniczne o częstotliwości < 1 Hz), a także drgania ziemi wywołane erupcjami wulkanicznymi lub trzęsieniami ziemi, które z kolei są źródłami infradźwięków rozchodzących się w powietrzu. Do sztucznych źródeł infradźwięków zalicza się przede wszystkim różne maszyny i urządzenia przemysłowe, środki transportu lądowego i wodnego oraz lotnictwo. Wszystkie środki transportu (samochody osobowe i ciężarowe, helikoptery, samoloty, statki i pociągi) są źródłami hałasu słyszalnego niskoczęstotliwościowego i infradźwięków (*Iwahashi, Ochiai* 2001). Poziomy infradźwięków wewnątrz pojazdów wynoszą np. w samochodach ciężarowych i pociągach do 120 dB, a w helikopterach od 115 do 150 dB.

W środowisku przemysłowym źródłami infradźwięków są maszyny obrotowe ciężkie: sprężarki, dmuchawy, wentylatory, pompy i młyny (poziomy infradźwięków wahają się od 90 do 110 dB), (*Pawlaczyk-Łuszczyńska* 1998).

Rozwój elektrowni wiatrowych jako źródeł energii odnawialnej doprowadził ostatnio do polemik dotyczących możliwości wytwarzania przez nie infradźwięków uciążliwych dla środowiska. Przykładowe dane pomiarowe (*British...* 2005) pozwalają stwierdzić, że emitowane poziomy infradźwięków są rzędu poziomów pochodzących od źródeł naturalnych.

Źródła impulsowe (wybuchy i udary) mogą także emitować składowe o wysokiej energii leżące w części infradźwiękowej widma, a ponadto niektóre źródła koherentne emitujące dwie składowe tonalne nieinfradźwiękowe o blisko leżących częstotliwościach mogą powodować pojawienie się infradźwięków przy częstotliwości różnicowej.

Jako źródła infradźwięków mniej rozpowszechnione można wymienić urządzenia wytwarzające infradźwięki w celach terapeutycznych (masaże) oraz wojskowych (broń nieśmiertelności), (*Vinokur* 2004).

PROPAGACJA INFRADŹWIĘKÓW

Infradźwięki, podobnie jak dźwięki słyszalne, są falami akustycznymi rozchodzącymi się w ośrodkach sprężystych, a więc w: gazach, cieczech i ośrodkach stałych. Ich cechą charakterystyczną jest bardzo małe pochłanianie w ośrodku. Na przykład, w powietrzu poziom energii fali infradźwiękowej o częstotliwości 10 Hz zmniejsza się tylko o około 0,1 dB na kilometr, w porównaniu ze zmniejszeniem rzędu 10 dB na kilometr w przypadku dźwięku o częstotliwości słyszalnej 1 kHz. Tłumienie w wyniku propagacji fal kulistych (6 dB z podwojeniem odległości) stosuje się również do infradźwięków i reprezentuje często jedyny czynnik znaczący zmniejszenia energii fal infradźwiękowych z odległością. Fale infradźwiękowe rozprzestrzeniają się więc na duże odległości od źródeł (nawet setki kilometrów), a lokalizacja ich źródeł jest utrudniona.

Ze względu na duże długości fal infradźwiękowych (najkrótsza fala ma długość 17 m) tradycyjne przegrody, ekrany akustyczne i ustroje dźwiękochłonne są mało skuteczne. Redukcja poziomu emisji u źródła jest często jedynym możliwym rozwiązaniem w celu zmniejszenia poziomów ekspozycji na infradźwięki.

PERCEPCJA INFRADŹWIĘKÓW

Progi słyszenia w zakresie niskich częstotliwości

Progi percepcji słuchowej infradźwięków są dobrze poznane na podstawie licznych eksperymentów – są tym wyższe, im niższa jest częstotliwość i wynoszą przykładowo dla częstotliwości 6 ÷ 8 Hz około 100 dB, a dla częstotliwości 10 ÷ 12 Hz około 90 dB (Møller, Pedersen 2004). Średnia wartość progu słyszenia (próg słyszenia przeciętnego słuchacza) skorygowana charakterystyką częstotliwościową G (określoną w normie ISO 7196 i służącą do pomiarów infradźwięków) prowadzi do poziomu percepcji słuchowej rzędu 102 dB. Stwierdzono jednak dużą zmienność osobniczą w zakresie percepcji słuchowej infradźwięków. Próg słyszenia osób o szczególnej wrażliwości może leżeć nawet około 10 dB poniżej średniego progu słyszenia.

Zwiększenie wrażenia dźwiękowego

Krzywe jednakowego poziomu głośności określone w normie ISO 226:2003 pokazują, że przy niskiej częstotliwości wrażenie dźwiękowe wzrasta szybciej ze wzrostem poziomu ciśnienia akustycznego w porównaniu do wrażenia w zakresie częstotliwości wyższych. Na przykład wzrost poziomu ciśnienia akustycznego o 20 dB powoduje wzrost wrażenia (poziomu głośności) o około 40 fonów przy częstotliwości 20 Hz, w porównaniu ze wzrostem o około 20 fonów przy częstotliwości 1000 Hz.

Percepcja infradźwięków przez receptory drgań

Progi percepcji infradźwięków przez receptory drgań są wyższe od progów słyszenia infradźwięków. Według Landströma (1987) percepcja drganiowa pojawia się przy poziomie infradźwięków rzędu 124 dB przy częstotliwości 4 Hz (próg słyszenia – 107 dB) i 116 dB przy częstotliwości 16 Hz (próg słyszenia – 82 dB).

NIEADEKWATNOŚĆ CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ A CHARAKTERYSTYKA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA G

Niektórzy autorzy (*Guest 2003; Campo, Damongeot 1991*) wykazali, że stosowanie charakterystyki częstotliwościowej A do oceny uciążliwości dźwięków o niskiej częstotliwości i infradźwięków prowadzi do ich niedoszacowania.

W normie ISO 7196:1995 określono charakterystykę częstotliwościową do pomiarów infradźwięków, tzw. charakterystykę G.

Zastosowanie charakterystyki częstotliwościowej G do progów słyszenia określonych przez *Møllera* w zakresie częstotliwości od 1 do 100 Hz prowadzi do całkowitego poziomu percepcji słuchowej rzędu 102 dB (*Møller, Pedersen 2004*). Ograniczenie przedziału całkowania do zakresu częstotliwości od 1 do 20 Hz nie zmienia podanego wcześniej wyniku, ponieważ wartości współczynników korekcyjnych G zmniejszają się gwałtownie w zakresie częstotliwości od 20 do 100 Hz. W normie ISO 7196:1995 wynik ten jest zamieszczony wraz z informacją, że w zakresie częstotliwości między 1 i 20 Hz dźwięki trafnie postrzegane przez przeciętnego słuchacza dają po korekcji poziomy ciśnienia akustycznego bliskie 100 dB.

SKUTKI FIZJOLOGICZNE DZIAŁANIA INFRADŹWIĘKÓW

Skutki fizjologiczne działania infradźwięków zależą od ich poziomu.

W pobliżu progu słyszenia infradźwięki powodują reakcje zmęczenia, depresji, stresu, poirytowania, nerwicy, bólu głowy, zaburzeń koncentracji uwagi oraz zaburzeń równowagi i mdłości (*Landström 1987; WHO 2001; DEFRA 2003*). Reakcje te mogą być wywołane wprowadzeniem w drgania narządów trawiennych, sercowo-naczyniowych, oddechowych lub gałek ocznych (*Huang Qibay, Shi 2004*).

Stwierdzono, na podstawie wyników eksperymentów wykonywanych na osobach głuchych i słyszących przy progu słyszenia, że zmiany stanu koncentracji uwagi osób badanych były wywołane pobudzeniem ślimakowym (*Landström i in. 1983*).

Przy poziomach wyższych od progów słyszenia wymienione wcześniej symptomy wzmacniają się i mogą się stać nie do zniesienia, jeśli ekspozycja jest długotrwała.

Zmniejszenie skutków fizjologicznych odnotowano, gdy źródło infradźwięków zostało usunięte, chociaż wrażenia nieprzyjemne trwały jeszcze jakiś czas.

Ponieważ indywidualna wrażliwość jest bardzo zmienna, dlatego wrażenia przeszkadzania lub dyskomfortu mogą pojawić się u osób szczególnie wrażliwych, nawet przy poziomach niższych od progów słyszenia.

Niektórzy autorzy odnotowują możliwy skutek maskowania (*Landström 1987; Gavreau i in. 1966*). Symptomy wywołane infradźwiękami o niskim poziomie są tłumione, kiedy osoba badana znajdzie się w hałasie słyszalnym o wyższym poziomie.

WARTOŚCI GRANICZNE EKSPOZYCJI

Zalecenia w różnych państwach

Brak przepisów europejskich i międzynarodowych dotyczących wartości granicznych ekspozycji na infradźwięki powoduje, że wielu autorów przedstawia różne propozycje wartości poziomów uznawanych za przykre lub niebezpieczne.

Konferencja Amerykańskich Rządowych Higienistów Przemysłowych (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) zaleca, aby poziom ciśnienia

akustycznego w każdym paśmie 1/3-oktawowym w zakresie częstotliwości od 1 do 80 Hz nie przekraczał 145 dB, a poziom całkowity – 150 dB, z wyłączeniem hałasów impulsowych o czasie trwania poniżej 2 s. Brak jest wskazań odnośnie do czasu trwania ekspozycji.

Służba Bezpieczeństwa i Higieny Pracy Nowej Zelandii (New Zealand Occupational Safety and Health Service, NZOSHS) zaleca, aby całkowity poziom ciśnienia akustycznego, wyznaczony dla zakresu częstotliwości od 1 do 16 Hz, nie przekraczał 120 dB dla 24-godzinnej ekspozycji.

Duńska Agencja Ochrony Środowiska (Danish Environmental Protection Agency, DEPA), (*Jakobsen* 2001) zaleca, aby poziomy ekspozycji na infradźwięki środowiskowe były niższe o 10 dB od progów słyszenia infradźwięków. Według *Jakobsena* 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.

Szwajcarska Komisja ds. Ochrony Zdrowia (Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit, EKAS) stanowi: „Zgodnie z obecnym stanem wiedzy nie ma zagrożeń infradźwiękami, kiedy skorygowany poziom ciśnienia akustycznego, obliczony dla 8-godzinnej dziennej ekspozycji nie przekracza 135 dB, a wartość maksymalna jest mniejsza od 150 dB. Zakłócenia „dobrostanu” mogą występować, kiedy średni poziom przekracza 120 dB”.

Norma ISO 7196:1995 potwierdza, że w zakresie częstotliwości od 1 do 20 Hz dźwięki odbierane przez przeciętnego słuchacza osiągną poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G równy 100 dB.

Francuski Krajowy Instytut ds. Badań i Bezpieczeństwa (Institut National Recherche et de Sécurité, INRS), (*Hee* i in. 1992) do sklasyfikowania poziomów hałasu o częstotliwościach poniżej 20 Hz w cztery strefy stosuje publikację *Pimonowa* (1972). Jeśli L_p oznacza całkowity, nieskorygowany, poziom ciśnienia akustycznego w pasmach częstotliwości poniżej 20 Hz, to strefy są następujące:

- $L_p \leq 120$ dB, poziom, przy którym ekspozycja trwająca kilkadziesiąt minut nie prowadzi na ogół do skutków szkodliwych. Przyjmuje się, że nie są znane działania psychologiczne tych poziomów ani konsekwencje ekspozycji długotrwałej
- $120 \text{ dB} < L_p \leq 140$ dB, poziom, przy którym możliwe jest pojawienie się zaburzeń psychologicznych krótkotrwałych, lecz zmęczenie jest tolerowane przez osoby o dobrej kondycji fizycznej, nawet w przypadku ekspozycji kilkudniowej
- $140 \text{ dB} < L_p \leq 155$ dB, poziom, przy którym pojawienie się zaburzeń psychologicznych jest znaczące, a zmęczenie jest tolerowalne przez osoby o dobrej kondycji fizycznej, w przypadku krótkich ekspozycji (2 min)
- $L_p > 180$ lub 190 dB, poziom śmiertelny (rozerwanie pęcherzyków płucnych).

Zespół badawczy z Instytutu Medycyny Pracy i Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego zaproponowali, aby uśredniony poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy charakteryzujący hałas infradźwiękowy z zakresu $2 \div 50$ Hz nie przekraczał 102 dB (*Pawlaczyk-Łuszczynska* i in. 2000). W przypadku hałasów impulsowych z tego zakresu zalecono jako wartość graniczną, podobnie jak ACGIH, wartość szczytowego, nieskorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego wynoszącego 145 dB**.

** Wartości te zostały wprowadzone do wykazu wartości NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, stanowiącego załącznik do rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej z dnia 2 stycznia 2001 r. (tekst jednolity – rozporządzenie z dnia 29 listopada 2002 r. DzU nr 217).

Obecnie grupa ds. Hałasu Zespołu Ekspertów ds. Czynników Fizycznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN podjęła prace nad weryfikacją tych wartości.

Z przedstawionego wcześniej przeglądu wynika, że zalecenia dotyczące wartości granicznych ekspozycji na infradźwięki nie są bezpośrednio porównywalne z powodu zastosowania różnych korekcji czy zakresów częstotliwości lub uwzględnienia różnego czasu ekspozycji. Kiedy jednak są rozpatrywane nieskorygowane poziomy ciśnienia akustycznego, wówczas INRS, ACGiH czy NZOSHS podają zalecenia stosunkowo zbliżone. Wykazano, że ekspozycja kilkugodzinna o poziomach niższych od 120 ÷ 150 dB prowadzi jedynie do zaburzeń przejściowych.

Kiedy są rozpatrywane poziomy ciśnienia akustycznego skorygowane charakterystyką częstotliwościową G, norma ISO 7196:1995 lub DEPA wskazują, że wartości niższe od 85 dB czy 90 dB będą zawsze poniżej progów percepcji lub uciążliwości. W całym zakresie częstotliwości od 2 do 50 Hz IMP i CIOP-PIB zalecają średni poziom maksymalny wynoszący 102 dB.

Pokazano, że charakterystyka częstotliwościowa G jest dobrze dostosowana do progów słyszenia przeciętnych słuchaczy w zakresie częstotliwości od 1 do 20 Hz i że ten próg jest rzędu 102 dB (i pozostaje taki sam w zakresie częstotliwości od 1 do 100 Hz).

Maksymalna wartość ekspozycji na hałas infradźwiękowy (od 1 do 20 Hz) i hałas niskoczęstotliwościowy (od 1 do 100 Hz) ustalony podczas 8 h mogą więc być oceniane wartością graniczną progu słyszenia dla większości słuchaczy, tj. 102 dB.

Ekspozycja na hałas impulsowy o nieskorygowanych poziomach niższych od 145 dB wydaje się być także wartością graniczną ostrożną.

Zmniejszenie czasu trwania ekspozycji hałasów ciągłych pozwala zwiększyć te progi słyszenia o 3 dB przez zmniejszenie czasu trwania przez czynnik 2, zgodnie z zasadą równej energii dla hałasu słyszalnego.

W tabelicy 1. przedstawiono podsumowanie proponowanych wartości granicznych.

Tablica 1.

Wartości graniczne proponowane dla ekspozycji na infradźwięki powietrzne
(Chatillon 2006)

Infradźwięki ustalone	
Obliczanie ekspozycji	zastosowanie charakterystyki częstotliwościowej G sumowanie energii w pasmach 1/3-oktawowych między 1 i 100 Hz
Wartość graniczna dla 8-godzinnej ekspozycji	102 dB
Jeśli czas trwania ekspozycji jest zmniejszony o czynnik 2	zwiększenie wartości granicznej o +3 dB
Infradźwięki impulsowe	
Obliczanie ekspozycji	bez korekcji
Nieskorygowana wartość graniczna ekspozycji	145 dB

POMIARY

Pomiary infradźwięków powinny być wykonywane zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie ISO 7196:1995, w której określono charakterystykę częstotliwościową G oraz odnośnie do stosowanej aparatury pomiarowej podano następujące zasady ogólne:

- charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu powinna być stała lub dobrze określona w przedziale częstotliwości od 0,25 do 160 Hz
- pozostała część układu pomiarowego powinna mieć charakterystykę częstotliwościową podobną do mikrofonu, klasa dokładności jest zresztą decydująca, a tolerancja ± 1 dB jest wymagana
- czas całkowania powinien wynosić 10 s dla hałasów ustalonych i do 1 min dla hałasów zmiennych
- pomiary powinny być wykonane w kilku punktach pomieszczenia, w którym infradźwięki są spodziewane lub odczuwane. W szczególności, z powodu fal stojących mogących występować w pomieszczeniu o geometrii stosunkowo regularnej, potrzebne jest rozważenie punktów pomiarowych blisko przegród, podłogi lub sufitu, gdzie mogą występować strzałki ciśnienia. Inne punkty pomiarowe, na wysokości 1 lub 1,5 m od podłogi są zalecane, ponieważ nierzadko fale stojące powodują zmiany poziomu rzędu 30 dB
- poziom infradźwiękowy jest obliczany przez sumowanie poziomów skorygowanych charakterystyką częstotliwościową G w różnych pasmach 1/3-oktawowych. Uzyskane wartości są porównywane z podanymi wcześniej zalecanymi wartościami granicznymi.

ŚRODKI OCHRONNE

Środki ochrony przed infradźwiękami są mało skuteczne, ponieważ fale infradźwiękowe są słabo tłumione przez powietrze lub klasyczne materiały izolacyjne (*Kaczmarek-Kozłowska, Augustyńska 1992*). Właściwości akustyczne materiałów izolacyjnych lub pochłaniających nie są na ogół określone poniżej pasma oktawowego o częstotliwości środkowej 125 Hz, dlatego większość z nich jest prawdopodobnie mniej skuteczna w zakresie częstotliwości niższych od tej częstotliwości.

Najlepszą ochronę przed szkodliwym lub uciążliwym działaniem infradźwięków stanowi ich zwalczanie u źródła powstawania, a więc w maszynach i urządzeniach (np. przez zwiększenie prędkości obrotowej maszyn wirujących).

PODSUMOWANIE

Analiza piśmiennictwa dotyczącego kryteriów oceny i wartości granicznych ekspozycji na infradźwięki wykazała, że brak jest ujednoczonych przepisów prawnych europejskich i międzynarodowych w tym zakresie.

Wiele instytucji i autorów proponuje w formie zaleceń różne wartości poziomów uznawanych za uciążliwe lub niebezpieczne. Wartości te różnią się znacznie z powodu przyjęcia różnych charakterystyk korekcyjnych, różnych zakresów częstotliwości i różnych czasów ekspozycji. Wynika to z faktu, że obecny stan wiedzy w zakresie szkodliwego oddziaływania infradźwięków na organizm człowieka uniemożliwia ustalenie jednoznacznych granicznych wartości ekspozycji. Wiąże się to ze specyfiką infra-

dźwięków, czyli dźwięków o częstotliwościach z zakresu od 1 do 20 Hz. Są one odbierane w organizmie specyficzną drogą słuchową (głównie przez narząd słuchu) i przez receptory czucia wibracji.

Progi percepcji słuchowej infradźwięków są dobrze poznane na podstawie licznych eksperymentów i są one tym wyższe, im niższa jest częstotliwość. Na przykład dla częstotliwości $6 \div 8$ Hz wynoszą około 100 dB, a dla częstotliwości $10 \div 12$ Hz – około 90 dB. Średnia wartość progu słyszenia (próg słyszenia przeciętnego słuchacza) skorygowana charakterystyką częstotliwościową G (określoną w normie ISO 7196 i służącą do pomiarów infradźwięków) prowadzi do poziomu percepcji słuchowej rzędu 102 dB. Stwierdzono jednak dużą zmienność osobniczą w zakresie percepcji słuchowej infradźwięków. Próg słyszenia osób o szczególnej wrażliwości leży około 10 dB poniżej średniej progu słyszenia.

Progi percepcji drganiowej (przez receptory czucia wibracji) leżą o około $20 \div 30$ dB wyżej niż progi słyszenia.

Dominującym skutkiem wpływu infradźwięków na organizm w ekspozycji zawodowej i pozazawodowej jest ich uciążliwe działania występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Działanie to charakteryzuje się: subiektywnie określonymi stanami nadmiernego zmęczenia, depresją, stresem, dyskomfortem, sennością oraz zaburzeniami równowagi, sprawności psychomotorycznej i funkcji fizjologicznych. Obiektywnym potwierdzeniem tych stanów są zmiany w ośrodkowym układzie nerwowym, charakterystyczne dla obniżenia stanu czuwania, co jest szczególnie niebezpieczne np. u operatorów maszyn i kierowców pojazdów. Na podstawie wyników badań wykazano, że omówione symptomy mają charakter przejściowy i ustępują po usunięciu źródła infradźwięków.

Poziom percepcji słuchowej jest przez wielu autorów proponowany jako kryterium uciążliwości infradźwięków w środowisku pracy.

Gdy poziomy ciśnienia akustycznego przekraczają wartości $140 \div 150$ dB, infradźwięki mogą powodować trwale, szkodliwe zmiany w organizmie. Możliwe jest występowanie zjawiska rezonansu struktur i narządów wewnętrznych organizmu subiektywnie odczuwanego już od 100 dB jako nieprzyjemne uczucie wewnętrznego wibrowania (Pawlaczyk-Łuszczńska i in. 2001).

Według stanowiska Grupy Ekspertów ds. Hałasu Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, obowiązujące obecnie w Polsce wartości NDN hałasu infradźwiękowego (równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub tygodnia pracy wynoszący 102 dB oraz szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego wynoszący 145 dB) powinny być usunięte z załącznika nr 2 do rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub tygodnia pracy wynoszący 102 dB stanowi bowiem próg percepcji słuchowej infradźwięków i kryterium ich uciążliwości, a nie szkodliwości.

Szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego $L_{LiN_{peak}}$ wynoszący 145 dB nie może być zmierzony za pomocą dostępnych obecnie na rynku mierników poziomu dźwięku spełniających wymagania normy PN-EN 61672-1:2005.

Ustalenie wartości granicznej i kryterium szkodliwości infradźwięków wymaga prowadzenia dalszych kompleksowych badań, zwłaszcza badań epidemiologicznych,

przez różne ośrodki w Polsce. Kryterium to powinno być oparte na wartości równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G lub inną charakterystyką częstotliwościową umożliwiającą pomiar infradźwięków w zakresie częstotliwości od 1 do 20 Hz. Kryterium to powinno być powiązane z kryterium szkodliwości dźwięków słyszalnych z zakresu częstotliwości powyżej 20 Hz mierzonych z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowej A (PN-EN 61672-1:2005).

Podstawą do monitorowania i oceny narażenia na hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy i oceny ryzyka zawodowego związanego z tym czynnikiem powinno być rozporządzenie ministra pracy i polityki socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (tekst jednolity DzU 2003 r., nr 169, poz. 1650 ze zm.) oraz normy PN-N-01338, PN-ISO 9612 i PN-ISO 7196. W znowelizowanej wersji normy PN-N-01338 umieszczono, zgodnie z propozycją Grupy Ekspertów ds. Hałasu, wartości odniesienia do oceny ryzyka oddziaływania hałasu infradźwiękowego na organizm człowieka.

PIŚMIENNICTWO

Berger E.H. (2001) Protection for infrasonic and ultrasonic noise exposure. Monographie Technique disponible sur l'. [<http://www.e-a-r.com>].

British Wind Energy Association. Low Frequency Noise and Wind Turbines. Technical Annex. February 2005. 10 pages. [<http://www.bwea.com/pdf/lfn-annex.pdf>].

Campo P., Damongeot A. (1991) La ponderation « A » est-elle un indicateur pertinent de la nocivite des bruits basse frequence? Étude bibliographique. Cahiers de Notes Documentaires no 144, 3^{ème} trimestre, 485–492.

Chatillon J. (2006) Limites d'exposition aux infrasons et aux ultrasons – Etude bibliographique. Hygiene et Securite du Travail, Cahiers de Notes Documentaires, INRS, 2^{ème} trimestre, 203.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (Royaume-Uni). A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. Report. [<http://www.defra.gov.uk/environment/noise/lowfrequency/pgf/lowfreqnoise.pdf>].

Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit. EKAS. RS 832.30. [<http://www.ekas.ch>]

Gavreau V., Condat R., Saul H. (1966) Infra-sons: générateurs, détecteurs, propriétés physiques, effets biologiques. Acustica 17(1), 1–10.

Guest H. (2003) Inadequate standards currently applied by local authorities to determine statutory nuisance from LF and infrasound. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 22, 1, 1–7.

Hee G., Barbara J.J., Gros P. (1993) Valeurs limites d'exposition aux agents physiques en ambiance de travail. Cahiers de Notes Documentaires, 148, 3^{ème} trimestre 1992 Mise à jour mai. Référence INRS ND 1886-148-92, 297-318.

Huang Qibay C.Y., Shi H. (2004) An Investigation on the physiological and psychological effects of infrasound on persons. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 23(1), 71–76.

- Iwahashi K., Ochiai H.* (2001) Infrasound pressure meter and examples of measuring data. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 20, 1, 15–19.
- 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.
- ISO 226:2003. Aout 2003, Acoustique – Lignes isosoniques normalek.
- Jakobsen J.* (2001) Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* (20)3, 141–148.
- Kaczmarska-Kozłowska A., Augustyńska D.* (1992) Study of sound insulation of control cabins in industry in the low frequency range. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* II, 2, 42–46.
- Landström U., Landström R., Byström M.* (1983) Exposure to infrasound. Perception and changes in wakefulness. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 2, 1, 1–11.
- Landström U.* (1987) Laboratory and field studies on infrasound and its effects on humans. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 6, 1, 29–33.
- Møller H., Pedersen C. S.* (2004) Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise and Health* 6, 23, 37–57.
- Pawlaczyk-Luszczynska M.* (1998) Occupational exposure to infrasonic noise in Poland. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 17, 2, 71–83.
- Pawlaczyk-Luszczynska M.* i in. (2000) Proposal of new limits values for occupational exposure to infrasonic noise in Poland. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 19, 4, 183–193,
- Pawlaczyk-Luszczynska M.* i in. (2001) Hałas infradźwiękowy – dokumentacja. PiMOŚP nr 2(28).
- Pimonow L.* (1972) Les bruits. Étude documentaire relative aux effets des vibrations acoustiques sur l'organisme. Secrétariat général de l'aviation civile.
- PN-N-01338:1986 Hałas infradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów (Norma w nowelizacji – zastąpiona będzie normą PN-N-01338. Hałas infradźwiękowy. Wartości odniesienia poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów i oceny).
- PN-EN 61672-1:2005. Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1. Wymagania.
- WHO, World Health Organization (2001) Environmental Health Criteria 12 – Noise Infrasound. Brief Review of Toxicological Literature. November 51. [http://ntp-server.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf]
- Vinokur R.* (2004) Acoustic noise as a non-lethal weapon. *Sound and Vibration*. October 19–23.

DANUTA AUGUSTYŃSKA

Infrasound-exposure limits - a review of the literature

A b s t r a c t

The paper presents a bibliographical review of infrasound-exposure limit values, mainly in the working environment. It includes brief information about infrasound sources, the propagation, perception and physiological effects of exposure to infrasounds.

Exposure limit values proposed by several countries are discussed and, in the absence of regulations, recommendations are proposed.