

Hałas infradźwiękowy

W artykule przedstawiono wyniki badań hałasu infradźwiękowego występującego na stanowiskach pracy kierowców środków transportu drogowego przeprowadzonych w pojazdach fabrycznie nowych, w warunkach eksperymentalnych. Jak wynika z pomiarów równoważny poziom dźwięku $L_{Geq,Te}$ zarejestrowany w czasie $T_e = 30-60s$ na stanowiskach pracy kierowców autobusów i samochodów ciężarowych waha się odpowiednio w granicach od 92 do 114 dB w zależności od kategorii pojazdu i prędkości jazdy. Wartości równoważnego poziomu dźwięku A , $L_{Aeq,Te}$, występujące na tych samych stanowiskach pracy kierowców wahają się w granicach od 62 dB do 76 dB. Dla prędkości jazdy 50 km/h najwyższe wartości równoważnego poziomu dźwięku G rzędu: 107 - 111 dB zarejestrowano na stanowiskach pracy kierowców autobusów miejskich. W artykule przedstawiono również widma hałasu infradźwiękowego na stanowisku pracy autobusu miejskiego zarejestrowane przy różnych prędkościach jazdy. Stwierdzono występowanie istotnych składowych widma hałasu o poziomach ciśnienia akustycznego rzędu 100 dB w zakresie częstotliwości infradźwiękowych 16-20 Hz.

Infrasonic noise at workstations of drivers of road vehicles in experimental conditions

This article presents the results of a study of infrasonic noise present at the workstations of drivers of new road vehicles in experimental conditions. The measured equivalent continuous G-weighted sound pressure level (recorded in time $T_e = 30-60s$) at workstations of bus and truck drivers is 92 - 114 dB depending on vehicle type and travelling speed. The measured equivalent continuous A-weighted sound pressure level at the same workstations is 62 - 76 dB. The highest values of equivalent continuous G-weighted sound pressure level recorded at workstations of city bus drivers are 107 - 111 dB. Spectra of infrasonic noise for different travelling speeds at the workstation of a city bus driver are presented. The main components of the spectrum (sound pressure level of about 100 dB) are in the infrasound range of 16 - 20 Hz.

dr inż. ANNA KACZMARSKA
doc. dr inż. DANUTA AUGUSTYŃSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

mgr inż. ANDRZEJ WIERZEJSKI
Instytut Transportu Samochodowego

Wprowadzenie

Hałas infradźwiękowy jest to hałas, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych (1-20 Hz) i niskich słyszalnych [1]. Obowiązujące w środowisku pracy wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego (wartości NDN) zawarte w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [2], ustalone są ze względu na szkodliwość tego hałasu dla zdrowia (głównie oddziaływanie infradźwięków na słuch i cały organizm). Wartości NDN hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy wynoszą:

- równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, $L_{Geq,8h} = 102$ dB
- szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego, $L_{Linpeak} = 145$ dB.

Wartości te obowiązują na wszystkich stanowiskach pracy bez względu na to, jaki jest charakter wykonywanej pracy. Inne, niższe wartości, odnoszące się do stanowisk pracy, obowiązują jedynie dla grup osób o szcze-

gólnej wrażliwości (kobiety ciężarne, osoby młodociane).

Liczne informacje nadsyłane przez wojewódzkie stacje sanitarno-epidemiologiczne i działy bhp firm przewozowych dotyczące wyników pomiarów hałasu, wskazują na występowanie przekroczeń wartości NDN hałasu infradźwiękowego, $L_{Geq,8h} = 102$ dB, w różnych pojazdach produkcji krajowej i zagranicznej. Badania ankietowe dotyczące warunków pracy w transporcie wykazują, że znaczny odsetek (ok. 75% spośród 300 badanych) kierowców środków transportu miejskiego uskarża się na nadmierny hałas działający przez co najmniej $\frac{1}{4}$ czasu pracy [3].

Dane literaturowe wskazują, że hałas niskoczęstotliwościowy (w tym infradźwiękowy) stanowi istotną uciążliwość w środowisku pracy kierowców [4, 5, 6]. Hałas ten może mieć wpływ na obniżenie sprawności psychofizycznej kierowców, wywoływać zmęczenie, senność, mikrodrzemki i powodować wydłużenie czasu reakcji [1], a więc może być przyczyną wypadków drogowych. Ponieważ badania homologacyjne typu pojazdów obejmują jedynie pomiar hałasu zewnętrznego pojazdów, w CIOP-PIB przy współpracy z Instytutem Transportu Samochodowego podjęto badania, mające na celu ocenę narażenia kierowców na hałas infradźwiękowy. Wstępne wyniki tych badań prowadzone w wybranych środkach transportu drogowego potwierdziły występowanie przekroczeń wartości NDN hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy kierowców [7].

na stanowiskach pracy kierowców w warunkach eksperymentalnych

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów hałasu infradźwiękowego wykonane na stanowiskach pracy kierowców wybranych nowych pojazdów (autobusów i samochodów ciężarowych), w warunkach eksperymentalnych. Wyniki tych badań (wykonywane w pojazdach fabrycznie nowych, na tych samych odcinkach drogi) pozwolą na porównanie i ocenę danych o hałasie infradźwiękowym docierającym do kierowców w poszczególnych kategoriach pojazdów.

Metoda badań

Pomiary hałasu infradźwiękowego przeprowadzono w warunkach eksperymentalnych w pojazdach nowych – autobusach oraz samochodach ciężarowych. Do badań wytypowano pojazdy wyprodukowane przez wiodących producentów motoryzacyjnych – krajowych i zagranicznych, w tym:

- 12 autobusów:
 - 8 autobusów miejskich, sześciu różnych typów (kategoria pojazdu M3 klasa I¹), autobusy oznaczone nr A 3, A 4, A 5 to autobusy tej samej marki, tego samego typu, ale o różnych układach napędowych
 - 2 autobusy międzymiastowe różnych typów (kategoria pojazdu M3 klasa II¹)
 - 2 autobusy turystyczne różnych typów (kategoria pojazdu M3 klasa III¹).
- 12 samochodów ciężarowych:
 - 6 samochodów ciężarowych różnych typów przeznaczonych do przewozu towarów o maksymalnej masie (wraz z ładunkiem) nie większej niż 12 ton (kategoria N1¹ – pojazdy

o maksymalnej masie nie większej niż 3,5 tony, kategoria N2 – pojazdy o maksymalnej masie większej niż 3,5 tony)

– 6 samochodów ciężarowych różnych typów przeznaczonych do przewozu towarów o maksymalnej masie większej niż 12 ton (kategoria pojazdów N3¹).

Badania hałasu na stanowisku pracy kierowców środków transportu drogowego zostały wykonane z uwzględnieniem wymagań podanych w następujących normach: PN-90/S-04052 [8], ISO 5128-1980 [9], PN-ISO 7196:2002 [10], PN-ISO 9612:2004 [11] oraz procedury pomiarowej dotyczącej hałasu infraczerwonego opublikowanej w kwartalniku „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” [1].

Pomiary w warunkach eksperymentalnych wykonano na możliwie płaskiej, czystej, suchej i asfaltowej nawierzchni (asfaltowa nawierzchnia lotniska w Modlinie lub asfaltowa nawierzchnia obwodnicy Radzymina) w warunkach ograniczających do minimum wpływ zakłóceń zewnętrznych. Pomiar wykonano w zakresie temperatury zewnętrznej od -5 do +35 °C, prędkość wiatru na wysokości 1,2 m nad nawierzchnią jezdni nie przekraczała 5 m/s. Poziom hałas (L_{Aeq}) otoczenia wynosił (w miarę możliwości) około 45 dB.

Autobusy miejskie i międzymiastowe badane były na asfaltowej nawierzchni lotniska w Modlinie, pozostałe kategorie pojazdów, tj. autobusy turystyczne oraz samochody ciężarowe badano na asfaltowej nawierzchni obwodnicy Radzymina.

Podczas badań warunki pracy silnika pojazdu były zgodne z wymaganiami producenta. Zastosowane podczas badań opony były odpowiednie do warunków, w jakich pojazd był eksploatowany. Wszystkie otwory okienne oraz dachowe podczas pomiarów były zamknięte, a układy wentylacji i ogrzewania wyłączone.

Samochody ciężarowe badane były przy masie własnej, natomiast autobusy przy masie badawczej równej masie własnej powiększonej o połowę ładowności.

Ze względu na maksymalną prędkość badaną pojazdy podzielone zostały na 4 podgrupy:

1. M3/I (50 – 70 km/h),
2. M3/II, M3/III (50 – 90 km/h)
3. N1, N2 (50 – 100 km/h)
4. N3 (50 – około 90 km/h)

w zależności od parametrów ustawienia ogranicznika prędkości jazdy.

Pomiary hałasu wykonano na stanowisku pracy kierowcy, główna oś czułości mikrofonu zwrócona była w kierunku jazdy.

Mierzone wielkości akustyczne:

– równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotli-

wościową, $G L_{Ceq,Te}$ (zwany dalej równoważnym poziomem dźwięku G – wielkość charakteryzująca hałas infraczerwony)

– równoważny poziom dźwięku A, $L_{Aeq,Te}$ – wielkość charakteryzująca hałas słyszalny.

Czas pomiaru i rejestracji sygnału akustycznego wynosił od 30 do 60 s, w zależności od możliwości realizacji badań związanych z zakłóceniami zewnętrznymi (dotyczy to głównie ruchu pojazdów na obwodnicy Radzymina). Pomiary przeprowadzono dla ustalonych prędkości jazdy.

Wyniki badań

Wyniki pomiarów w warunkach eksperymentalnych równoważnego poziomu dźwięku G oraz równoważnego poziomu dźwięku A, zarejestrowane na stanowiskach pracy kierowców badanych pojazdów w odniesieniu do wybranych prędkości jazdy zestawiono w tabeli.

Jak wynika z pomiarów przeprowadzonych w warunkach eksperymentalnych (tabela), zarejestrowane w badanych pojazdach wartości równoważnego poziomu dźwięku G na stanowiskach pracy kierowców wahały się od 92 do 114 dB (w zależności od kategorii pojazdu i prędkości jazdy). Dla porównania, wartości równoważnego poziomu dźwięku A, występujące na tych samych stanowiskach pracy kierowców wahały się w granicach od 60 do 76 dB. Świadczy to o dominującym charakterze hałasu infraczerwonego na stanowiskach pracy kierowców.

Najwyższe wartości równoważnego poziomu dźwięku G zostały zarejestrowane na stanowiskach pracy kierowców dwóch samochodów ciężarowych typu N1, N2 (furgon) – ok. 114 dB przy prędkości jazdy 100 km/h. Przy prędkości jazdy 50 km/h najwyższe wartości równoważnego poziomu dźwięku G, tj. ok. 111 dB zarejestrowano na stanowiskach pracy kierowców autobusów miejskich.

Tabela

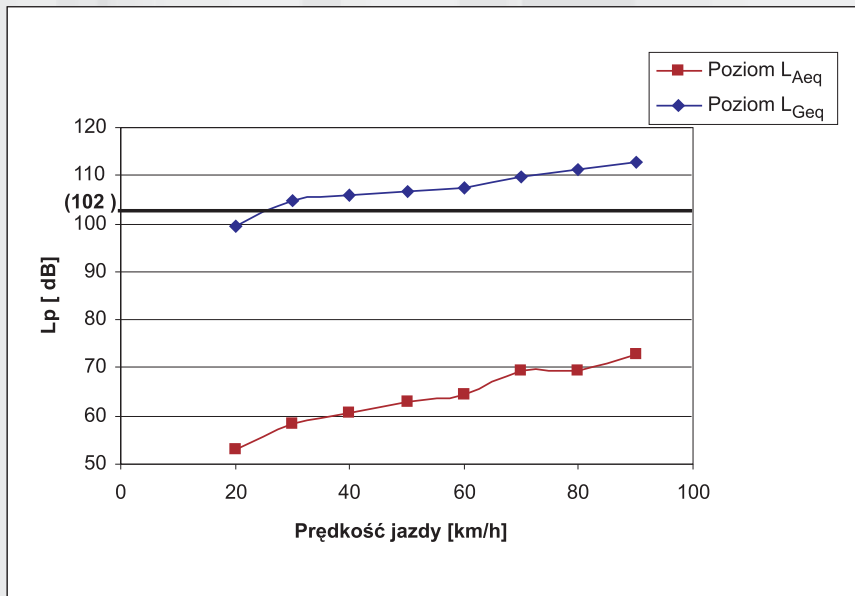
RÓWNOWAŻNY POZIOM DŹWIĘKU G I RÓWNOWAŻNY POZIOM DŹWIĘKU A W CZASIE $T_e = 30-60$ s ZAREJESTROWANE NA STANOWISKACH PRACY KIEROWCÓW – BADANIA W WARUNKACH EKSPERYMENTALNYCH

Equivalent G-weighted sound pressure level and equivalent continuous A-weighted sound pressure level (recorded in time $T_e = 30-60$ s) at workstations, measurements in experimental conditions

Kategoria pojazdu	Typ pojazdu	Równoważny poziom dźwięku G $L_{Ceq,Te}$ dB				Równoważny poziom dźwięku A $L_{Aeq,Te}$ dB			
		prędkość jazdy							
		50 km/h	70 km/h	90 km/h	100 km/h	50 km/h	70 km/h	90 km/h	100 km/h
Autobusy M3/	I	A1	107	110		63	67		
		A2	107	110		63	69		
		A3	107	111		69	73		
		A4	110	113		66	70		
		A5	108	111		66	71		
		A6	111	113		66	72		
		A7	110	111		69	73		
		A8	110	113		64	70		
	II	A9	105		110	67		75	
		A10	107		110	67		74	
		A11	105		111	60		69	
		A12	106		110	64		70	
Samochody ciężarowe N	N1, N2*	P1	99		104	65		76	
		P2	103		110	63		73	
		P3	106		111	63		74	
		P4	109		114	70		75	
		P5	109		114	71		74	
		P6	100		104	65		72	
	N3	P7	97		100	63		71	
		P8	103		105	67		71	
		P9	92		100	65		72	
		P10	97		101	63		71	
		P11	95		100	65		71	
		P12	92		95	62		69	

* pojazdy kategorii N1 lub N2 powstałe na bazie wspólnego projektu

¹ Klasyfikacja wg Europejskiej Komisji Gospodarczej (EKG) ONZ

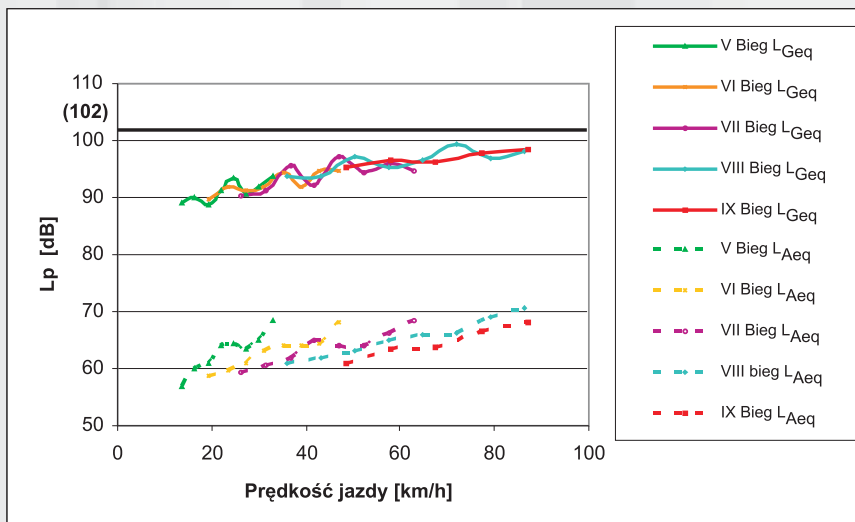


Rys. 1. Równoważny poziomy dźwięku A i G w zależności od prędkości jazdy na stanowisku pracy kierowcy autobusu miejskiego (pojazd kategorii M3/1)

Fig. 1. Equivalent G-weighted sound pressure level and equivalent continuous A-weighted sound pressure level at the workstation of a city bus driver depending on the travelling speed (M3/1 vehicle)

Rejestrowane wartości równoważnego poziomu dźwięku G na stanowiskach pracy kierowców autobusów wahały się w granicach: 105÷111 dB przy prędkości jazdy 50 km/h oraz 110÷113 dB przy większych prędkościach jazdy. Wyższe wartości zaobserwowano na stanowiskach pracy kierowców autobusów miejskich

w stosunku do autobusów międzymiastowych i turystycznych (tabela). Poziom hałasu infradźwiękowego rejestrowany na stanowiskach pracy kierowców wszystkich badanych autobusów, zarówno w przypadku producentów krajowych jak i czołowych producentów zagranicznych, przy prędkości 50-90 km/h



Rys. 2. Równoważny poziomy dźwięku A i G w zależności od prędkości jazdy na stanowisku pracy kierowcy ciężkiego samochodu ciężarowego (pojazd kategorii N3)

Fig. 2. Equivalent G-weighted sound pressure level and equivalent continuous A-weighted sound pressure level at the workstation of a driver of a heavy truck (N3 vehicle)

wahał się w granicach 105–113 dB i przekraczał wartość 102 dB. Przyjmując, że czas pracy kierowcy autobusu wynosi co najmniej 8 h można stwierdzić, że równoważny poziomy dźwięku G odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy w tych pojazdach będzie przekraczał wartość dopuszczalną (NDN) hałasu infradźwiękowego ($L_{Geq,8h} = 102$ dB).

Zdecydowanie niższe wartości (w stosunku do badanych autobusów) równoważnego poziomu dźwięku G (rzędu: 92 – 103 dB dla $V = 50$ km/h) zostały zarejestrowane na stanowiskach pracy kierowców ciężkich samochodów ciężarowych (kategoria pojazdów N3 o maksymalnej masie większej niż 12 ton). W grupie tej zaobserwowano zróżnicowanie poziomu hałasu infradźwiękowego pomiędzy poszczególnymi typami pojazdów, dochodzące do 11 dB dla $V = 50$ km/h (tabela).

Najniższe wartości poziomu hałasu infradźwiękowego rzędu 92 dB przy prędkości 50 km/h zanotowano w samochodzie ciężarowym nr P12 (pojazd kategorii N3) produkcji zagranicznej (tabela).

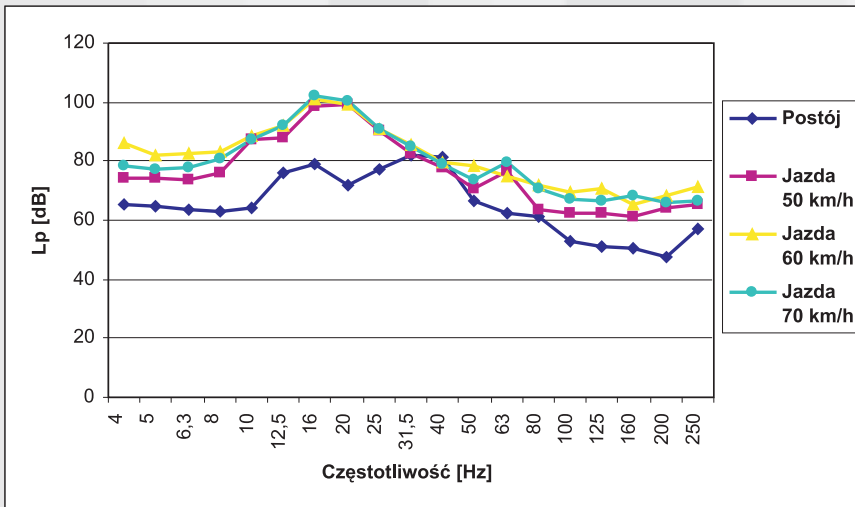
Na rys. 1. przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów hałasu i hałasu infradźwiękowego na stanowisku pracy kierowcy autobusu miejskiego (pojazdu kategorii M3), przeprowadzonych w warunkach eksperymentalnych w zależności od prędkości jazdy (w całym zakresie pomiarowym).

Jak wynika z rys. 1., zarejestrowane na stanowisku pracy kierowcy badanego autobusu miejskiego wartości równoważnego poziomu dźwięku A i G, zmieniały się w podobny sposób; wzrastały wraz ze wzrostem prędkości jazdy, przy czym wartości równoważnego poziomu dźwięku G były znacznie wyższe, a przy prędkości jazdy powyżej ok. 30 km/h przekraczały wartość 102 dB.

Na rys. 2. przedstawiono wybrane wyniki pomiarów hałasu i hałasu infradźwiękowego przeprowadzonych w warunkach eksperymentalnych na stanowisku pracy kierowcy ciężkiego samochodu ciężarowego kategorii N3 w zależności od prędkości jazdy.

Jak wynika z rys. 2., zarejestrowane wartości równoważnego poziomu dźwięku G na stanowisku pracy kierowcy badanego samochodu ciężarowego, w zależności od prędkości jazdy, nie przekraczały wartości 102 dB i podobnie jak w przypadku badanego autobusu miejskiego znacznie przewyższały wartości równoważnego poziomu dźwięku A dla wszystkich badanych prędkości jazdy.

Na rys. 3. przedstawiono przykładowe widma hałasu infradźwiękowego na stanowisku pracy kierowcy nowoczesnego autobusu,



Rys. 3. Widma hałasu niskoczęstotliwościowego zarejestrowane na stanowisku pracy kierowcy autobusu miejskiego, pomiar w warunkach eksperymentalnych

Fig. 3. Spectra of low-frequency noise at the workstation of a city bus driver, measurement in experimental conditions

powszechnie eksploatowanego w komunikacji miejskiej, przy różnych prędkościach jazdy.

W zarejestrowanych widmach hałasu zaobserwowano występowanie znacznych poziomów ciśnienia akustycznego, tj. ok. 100 dB w zakresie częstotliwości infradźwiękowych 16-20 Hz.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wysokie poziomy hałas infradźwiękowy występowały powszechnie w badanych środkach transportu drogowego (autobusach i samochodach ciężarowych), zarówno produkcji krajowej jak i zagranicznej.

Podobnie jak w przypadku badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych [7], zarejestrowany równoważny poziom dźwięku G w niektórych przypadkach znacznie przekraczał wartość 102 dB, która odniesiona do 8-godzinnej wymiaru czasu pracy stanowi wartość NDN.

Najwyższe wartości równoważnego poziomu dźwięku G były zarejestrowane w samochodach ciężarowych typu furgon i autobusach miejskich.

Najniższe wartości równoważnego poziomu dźwięku G zostały zarejestrowane na stanowiskach pracy kierowców ciężkich samochodów ciężarowych, gdzie zaobserwowano istotne zróżnicowanie poziomu hałasu infradźwiękowego pomiędzy poszczególnymi typami pojazdów.

W widmach hałasu infradźwiękowego zarejestrowanych na stanowisku pracy kierowcy

badanego autobusu miejskiego zaobserwowano występowanie istotnych składowych (ok. 100 dB) w zakresie częstotliwości infradźwiękowych 16-20 Hz.

Hałas infradźwiękowy może stwarzać szczególne zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa kierowców. Czynnikiem ten działa bezpośrednio na organizm (głównie na narząd słuchu i układ nerwowy), a działanie to ujawnia się z czasem pod postacią konkretnych jednostek chorobowych (choroby wibroakustycznej) [6]. Ponadto, hałas infradźwiękowy może mieć istotny wpływ na obniżenie sprawności psychofizycznej kierowców, zmniejszać ostrość widzenia oraz przyspieszać pojawienie się stanu zmęczenia i senności (mikrodrzemki), co w konsekwencji prowadzi do poważnych następstw w postaci wypadków.

W profilaktyce szkodliwego działania hałasu infradźwiękowego obowiązują takie same wymagania i zasady, jak w przypadku hałasu. Jednakże ochrona przed infradźwiękami jest skomplikowana ze względu na znaczne długości fal infradźwiękowych, dla których tradycyjne ścianki, przegrody, ekrany i pochłaniacze akustyczne są mało skuteczne.

Najlepszą ochronę przed działaniem infradźwięków stanowi ich zwalczanie u źródła powstawania, a więc w maszynach i urządzeniach. W przypadku pojazdów drogowych wymagania w zakresie ochrony przed hałasem infradźwiękowym należy uwzględnić przy ich projektowaniu, konstruowaniu oraz dopuszczaniu na rynek.

Konieczne jest powiązanie przepisów dotyczących homologacji typu pojazdów z przepisami określającymi wymagania w zakresie bhp

(w tym prowadzenie badań hałasu słyszalnego i hałasu infradźwiękowego dochodzącego do kierowcy). Zobowiąże to producentów pojazdów do podejmowania działań zapobiegających występującym zagrożeniom. Jednocześnie dostarczy to użytkownikom pojazdów informacji o hałasie na stanowiskach pracy kierowców i umożliwi wybór pojazdów o możliwie najniższym poziomie hałasu infradźwiękowego.

PIŚMIENNICTWO

[1] M. Pawlaczyk-Łuszczynska, D. Augustyńska, A. Kaczmarska *Hałas infradźwiękowy. Procedura pomiarowa. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego*. Wydawnictwo Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy” 2001, Rok XVII, zeszyt nr 2(28), 5-53

[2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833; zm. DzU 2005, nr 212, poz. 1769

[3] D. Koradecka, D. Augustyńska, M. Pośniak i inni *Opracowanie zasad monitorowania stanu narażenia na czynniki szkodliwe i uciążliwe w środowisku pracy spełniających standardy obowiązujące w krajach UE w ramach działalności Europejskiej Fundacji Poprawy Warunków Życia i Pracy zadanie 6.4/PW, etap II, CIOP-PIB 2003*

[4] U. Landstrom, P.L. Pelmar *Infrasound A Short Review*, J. Low Freq. Noise and Vib. 1993, Vol.12 No.3, 72-74

[5] A. Genell, D. Vastfjall, M. Kleiner, A. Hedlund *Components in evaluation of complex interior truck sounds*, J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control 2006, Vol. 25, No 4, 227-237

[6] Z. Engel, A. Kaczmarska, D. Augustyńska *Badanie wpływu nadmiernej ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy – choroba wibroakustyczna*, „Bezpieczeństwo Pracy” nr 11(410), 2005

[7] A. Kaczmarska, D. Augustyńska, A. Wierzejski *Hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy kierowców*, „Bezpieczeństwo Pracy” nr 10(421), 2006

[8] PN-90/S-04052: 1990 *Samochody. Dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdu. Wymagania i badania*

[9] ISO 5128-1980: 1980 *Acoustics – Measurement of noise inside motor vehicles*

[10] PN-ISO 7196: 2002 *Akustyka. Charakterystyka częstotliwościowa filtru do pomiarów infradźwięków*

[11] PN-ISO 9612: 2004 *Akustyka – Zasady pomiaru i oceny ekspozycji na hałas w środowisku pracy*

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy