AN INFLUENCE OF INFRASOUND AND INFRASOUND NOISE ON THE BEHAVIOUR OF DRIVERS OF MECHANICAL VEHICLE

Gabriel Nowacki, Izabella Mitraszewska
Tomasz Kamiński, Andrzej Wierzejski

Motor Transport Institute
Jagiellońska 80, 03-301 Warsaw, Poland
tel. +48 22 8113231 ext. 134, fax. +48 22 8110906
email: gabriel.nowacki@its.waw.pl

Abstract

The article refers to some problems of infrasound and infrasound noise and their influence on the behaviour of drivers of mechanical vehicles and machine operators. Infrasound waves act on the entire human organism. They induce resonance vibrations of the chest, abdominal membrane and digestive organs. That causes respiratory system problems, and with a prolonged exposure leads to the digestive system disorders. Furthermore infrasound causes feeling of tiredness, discomfort, and drowsiness; it decreases psychomotor perception and sight sharpness.

Motor Transport Institute has carried out research on infrasound noise. Measurements were taken using SVANTEK SVAN 945A register on correction curves A, Lin and G as well as dynamic characteristics Fast and Slow. Measurements were made only in the driver work place, recording level of sound pressure for 30 seconds. Tests were carried out on 5 buses (M3 category), 10 vehicles of N3category (saddle tractors and HGV`s), 3 HGV`s N1 category and 2 vehicles of category M1. Research results confirm high infrasound noise levels in the case of M3 category vehicles. They would remain at about 110÷115 dB level, according to correction curve G with relatively low level of interior noise of about 66÷74 dB according to correction curve A, and at the speed range of 70 to 90 km/h. The level of infrasound noise reaches lower values of about 100 dB in the vehicles of N3 and N1 category. During the research, an importance of road surface condition, was established, adding up to 7 dB, but in extreme cases even up to 10 dB, causing momentary increase of infrasound noise even to 125 dB.

Keywords: *infrasound, infrasound noise*

WPŁYW INFRADŹWIĘKÓW I HAŁASU INFRADŹWIĘKOWEGO NA ZACHOWANIA KIEROWCÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Streszczenie

W referacie przedstawione zostały problemy, dotyczące infradźwięków i hałasu infradźwiękowego oraz ich wpływu na zachowania kierowców pojazdów mechanicznych oraz operatorów maszyn. Fale infradźwiękowe działają na cały organizm ludzki. Wywołują one drgania rezonansowe klatki piersiowej, przepony brzusznej i organów trawiennych. Powoduje to zaburzenia systemu oddychania, a przy dłuższym działaniu prowadzi do chorób układu trawienia. Ponadto infradźwięki powodują uczucie zmęczenia, dyskomfortu i senności, obniżają sprawność psychomotoryczną i ostrość widzenia.

Badania, dotyczące hałasu infradźwiękowego, prowadzone były przez Instytut Transportu Samochodowego. Pomiary przeprowadzono za pomocą rejestratora firmy SVANTEK - SVAN 945A na krzywych korekcyjnych A, Lin oraz G oraz charakterystykach dynamicznych Fast oraz Slow. Pomiary wykonano jedynie w miejscu pracy kierowcy, zapisując przez 30 sekund poziom ciśnienia akustycznego. Badaniom poddano 5 autobusów (kategoria M3), 10 pojazdów kategorii N3 (ciągniki siodłowe oraz samochody ciężarowe), 3 samochody ciężarowe kategorii N1 oraz 2 samochody kategorii M1. Wyniki badań potwierdzają wysokie wartości poziomów hałasu infradźwiękowego w odniesieniu do pojazdów kategorii M3, utrzymujące się na stałym poziomie tzn. około 110÷115 dB wg krzywej korekcyjnej G przy stosunkowo niskim poziomie hałasu wewnętrznego 66÷74 dB wg krzywej korekcyjnej A w zakresie prędkości od około 70 do około 90 km/h W pojazdach kategorii N3 oraz N1 poziomy infradźwięków osiągają niższe wartości na poziomie 100 dB. W trakcie badań stwierdzono istotny wpływ stanu nawierzchni jezdni, dochodzący do 7 dB - a w skrajnych wypadkach nawet do 10 dB, powodujący chwilowy wzrost hałasu infradźwiękowego (wartość maksymalna) nawet do 125 dB.

Słowa kluczowe*: infradźwięki, hałas infradźwiękowy*

1. Wstęp

Termin „infradźwięki" interpretowany jest jako dźwięki lub hałas, którego widmo jest głównie zawarte w paśmie częstotliwości od l Hz do 20 Hz [8]. Hałas infradźwiękowy rozumiany jest jako hałas, w którego widmie występują składowe o częstotliwościach infradźwiękowych i niskich słyszalnych do 50 Hz [10].

W ostatnich latach zainteresowanie infradźwiękami bardzo wzrosło, gdyż w środowisku współczesnego człowieka stanowią one ważny czynnik zakłócający. Źródła infradźwięków można podzielić na naturalne i sztuczne:

- naturalne: wulkany, grzmoty, silny wiatr, trzęsienia ziemi (fale sejsmiczne), duże wodospady,
- sztuczne: środki transportu (samochody, autobusy, tramwaje, lokomotywy, samoloty, helikoptery i inne), maszyny drogowe (np. walce drogowe), sprężarki (tłokowe, odśrodkowe, wirnikowe, śrubowe i inne), dmuchawy, wentylatory.

Infradźwięki wbrew powszechnemu mniemaniu o ich niesłyszalności, są odbierane w organizmie specyficzną drogą słuchową (głównie przez narząd słuchu) oraz układ przedsionkowy. Słyszalność ich zależy od poziomu ciśnienia akustycznego.

Stwierdzono jednak dużą zmienność osobniczą w zakresie percepcji słuchowej, szczególnie dla najniższych częstotliwości. Progi słyszenia infradźwięków są tym wyższe, im niższa jest ich częstotliwość i wynoszą na przykład: dla częstotliwości 6-8 Hz około 100 dB, a dla częstotliwości 12-16 Hz około 90 dB.

Poza specyficzną drogą słuchową infradźwięki są odbierane przez receptory czucia wibracji. Progi tej percepcji znajdują się o 20 ÷ 30 dB wyżej niż progi słyszenia.

2. Charakterystyka infradźwięków i hałasu infradźwiękowego

Cechą charakterystyczną infradźwięków są znaczne długości fal (λ>17m), które słabo tłumione mogą rozchodzić się na znaczne odległości od źródła. Stosowane zabezpieczenia przeciwhałasowe są mało skuteczne. W niektórych przypadkach infradźwięki mogą być wzmacniane wskutek zjawiska rezonansu pomieszczeń, elementów konstrukcyjnych lub całych obiektów. Poziomy ciśnień akustycznych mogą wówczas przekraczać poziomy mierzone w pobliżu tych źródeł.

Dopuszczalne ze względu na ochronę zdrowia obowiązujące jednocześnie wartości hałasu infradźwiękowego (NDN) są określone w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 roku [12]. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-godzinnego dobowego lub do przeciętnego, tygodniowego wymiaru czasu pracy ($L_{G\,eq,\ 8h}$) wynosi 102 dB, natomiast szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego, $L_{LIN,\ peak,}$ wynosi 145 dB.

Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego dla 8-godzinnej ekspozycji, zgodnie z polską normą [10] podano w tabeli 1.

Tab. 1. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego
Tab. 1. Admissible quantity levels of acoustic pressure

Lp.	Stanowisko pracy	Poziomy ciśnienia akustycznego w oktawowych pasmach o częstotliwościach środkowych (dB)			
		4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz
1	W kabinach dyspozytorskich, obserwacyjnych, zdalnego sterowania.	90	90	90	85
2	W pomieszczeniach administracyjnych, biur projektowych, prac teoretycznych.	85	85	85	80

W Rosji wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego zostały określone w normach: SN Nr. 2274-80 oraz SN 2.2.4/2.1.8.583-96 [15, 16] – tabela 2 i 3. Maksymalne dopuszczalne wartości infradźwięków, przedstawione w normie SN 2,2,4/2.1.8.583 z 1996 r. (tab. 3), są dwukrotnie (nawet trzykrotnie) bardziej restrykcyjne w porównaniu z normą SN 2274 z 1980 r. (tab. 2).

Tab. 2. Dopuszczalne wartości infradźwięków w miejscach pracy Nr 2274-80
Tab. 2. Health standards for infrasound at the working places No. 2274-80

Poziomy ciśnienia akustycznegow dB w pasamach oktawowych o średnich częstoliwościach (Hz)					Ogólny poziom ciśnienia akustycznego w dB Lin
2	4	8	16	31.5	
105	105	105	105	102	110

Tab 3. Maksymalne dopuszczalne wartości infradźwięków w miejscach pracy SN 2.2.4/2.1.8.583-96
Tab. 3. Maximum Permissible Limits of Infrasound at the Working Places SN 2.2.4/2.1.8.583-96

Rodzaj pracy	Poziomy ciśnienia akustycznego w dB w pasmach oktawowych o średnich częstotliwościach (Hz)				Ogólny poziom ciśnienia akustycznego w dB Lin
	2	4	8	16	
Praca na różnych stanowiskach w przedsiębiorstwach przemysłowych	100	95	90	85	100

Szacuje się, że około 40-60% osób zatrudnionych w transporcie narażonych jest na hałas infradźwiękowy. Zalecenia dotyczące metod pomiarów infradźwięków zawierają dwa standardy międzynarodowe: ISO 7196 i ISO 9612 [8, 9]. Norma ISO 7196 określa charakterystykę częstotliwościową G do pomiaru infradźwięków, która jest zbliżona do progu percepcji słuchowej (bezpośredniej) infradźwięków.

3. Analiza wpływu infradźwięków i hałasu infradźwiękowego na zachowania kierowców

Dominującym efektem wpływu infradźwięków i hałasu infradźwiękowego na organizm człowieka jest ich działanie uciążliwe, występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Działanie to odbierane jest przez organizm subiektywnie określonymi stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności, zaburzeniami równowagi, zaburzeniami funkcji fizjologicznych oraz sprawności psychomotorycznej[1]. Obiektywnym potwierdzeniem tych stanów są zmiany w ośrodkowym układzie nerwowym, charakterystyczne dla obniżenia stanu czuwania (co jest szczególnie niebezpieczne np. u kierowców pojazdów i operatorów maszyn). Czas reakcji człowieka[2] wynosi minimum 0,6 sekundy, a proces hamowania składa się zawsze z dwóch etapów:

- informacja odbierana przez oko przekazywana do mózgu, który opracowuje odpowiedź na bodziec wzrokowy;
- odpowiedź czyli reakcja zachowawcza przekazywana do kończyny dolnej tzn. naciśnięcie pedału hamulca.

[1] Sprawność psychomotoryczna to złożona czynność psychiczna, angażująca system wzrokowy i ruchowy. Przykładem może być kierowanie pojazdem. Szybkość koordynacji wzrokowo – motorycznej nazywana jest refleksem.

[2] Czas reakcji jest to czas potrzebny na wykonanie pojedynczej reakcji zewnętrznej w odpowiedzi na bodziec. Przykładem jest reakcja naciśnięcia pedału hamulca na bodziec światła czerwonego.

Dopiero po czasie 0,6 sek może więc zadziałać jakikolwiek „elektroniczny pomocnik hamowania". Jeżeli człowiek ma osłabioną reakcję wskutek wpływu infradźwięków (efekty zmęczenia lub efekty podobne, jak po spożyciu dużej ilości alkoholu) czas reakcji wydłuża się. Warto mieć świadomość, że przy prędkości 50 km/h, w ciągu 0,6 sekundy pojazd przejedzie 8,3 metra.

Infradźwięki ograniczają także pole widzenia, efekt jak po spożyciu alkoholu. Dla sprawnego człowieka pole widzenia wynosi:

- na postoju 180 stopni,
- przy 40 km/h jest ograniczone do 100 stopni,
- przy 70 km/h jest ograniczone do 75 stopni,
- przy 100 km/h jest ograniczone do 45 stopni,
- przy 130 km/h jest ograniczone do 30 stopni.

Infradźwięki oddziaływają także na narządy wewnętrzne człowieka pobudzając je do drgań o charakterze rezonansowym, co w konsekwencji może doprowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń. Badacze angielscy stwierdzili że infradźwięki mogą wpływać na rozkojarzenie czynności nerwowych w sposób podobny jak alkohol i że do typowych objawów takiego działania należy nieuzasadnione uczucie strachu i niepokój, bóle głowy, mdłości jak przy chorobie morskiej, oczopląs z zamazywaniem ostrości widzenia, zaburzenia zmysłu równowagi i zmęczenie.

Oddziaływanie infradźwięków o poziomie poniżej 120 dB nie wywołuje wrażeń przykrych i nie jest szkodliwe.

Przebywanie w polu działania infradźwięków (120 –140 dB) może powodować lekkie zakłócenia procesów fizjologicznych i uczucie nadmiernego zmęczenia.

Natomiast infradźwięki (140 – 160 dB) już przy krótkim (2 min) działaniu, powodują nieprzyjemne objawy fizjologiczne (zakłócenia zmysłu równowagi, wymioty). Dłuższe działanie spowodować może trwałe uszkodzenia organiczne.

Podczas badań prowadzonych na zwierzętach stwierdzono śmiertelne działanie infradźwięków (powyżej 170 dB), spowodowane przeważnie przekrwieniem płuc.

Badania, dotyczące hałasu infradźwiękowego, prowadzone były przez Instytut Transportu Samochodowego. Pomiary poziomu dźwięku przeprowadzono za pomocą rejestratora firmy SVANTEK SVAN 945A na krzywych korekcyjnych A, Lin oraz G oraz charakterystykach dynamicznych Fast oraz Slow. Pomiary wykonano jedynie w miejscu pracy kierowcy, zapisując przez 30 sekund poziom ciśnienia akustycznego.

Badaniom poddano 5 autobusów (kategoria M3), 10 pojazdów kategorii N3 (ciągniki siodłowe, podwozia samochodów ciężarowych oraz samochody ciężarowe), 3 samochody ciężarowe kategorii N1 oraz 2 samochody kategorii M1[3]. Wyniki przedstawiono w tabeli 4 oraz 5.

Tab. 4. Wyniki pomiarów dla samochodów osobowych kategorii M1
Tab. 4. Research results for personal cars of category M1

Pojazd	Kategoria	Poziom dźwięku LEQ w dB przy prędkości około 140 km/h	
		wg krzywej kor. A	wg krzywej kor. G
Samochód osobowy 1	M1	68	100
Samochód osobowy 2	M1	72	97

[3] Kategoria M1 -pojazdy zaprojektowane i zbudowane do przewozu pasażerów, mające nie więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy. Kategoria M3 - pojazdy przeznaczone do przewozu pasażerów, zawierające więcej niż 9 miejsc siedzących wraz z kierowcą i mające maksymalną masę większą niż 5 ton. Kategoria N1 - pojazdy przeznaczone do przewozu towarów i mające maksymalną masę nie większą niż 3,5 tony. Kategoria N2 - pojazdy przeznaczone do przewozu towarów i mające maksymalną masę większą niż 3,5 tony ale nie większą niż 12 ton. Kategoria N3 - pojazdy przeznaczone do przewozu towarów i mające maksymalną masę większą niż 12 tony.

Wyniki badań potwierdzają wysokie wartości poziomów hałasu infradźwiękowego w odniesieniu do pojazdów kategorii M3, utrzymujące się w zakresie prędkości od około 70 do około 90 km/h na stałym poziomie tzn. około 110-115 dB wg krzywej korekcyjnej G przy stosunkowo niskim poziomie hałasu wewnętrznego 66-74 dB wg krzywej korekcyjnej A.

W pojazdach kategorii N3 oraz N1 poziomy infradźwięków osiągają niższe wartości na poziomie 100 dB. W trakcie badań stwierdzono istotny wpływ stanu nawierzchni jezdni dochodzący do 7 dB a w skrajnych wypadkach nawet do 10 dB powodując chwilowy wzrost hałasu infradźwiękowego (wartość maksymalna) nawet do 125 dB.

Z powyższych analiz wynika, że wysokie poziomy infradźwięków występują powszechnie we wszystkich pojazdach samochodowych, a zwłaszcza w autobusach. Problem ten dyskutowany jest na forum grupy roboczej do spraw konstrukcji pojazdów Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ.

Tab. 5 Wyniki badań pojazdów M3, N3, N1
Tab. 5 Research results of M3, N3, N1vehicles

Pojazd	Kategoria	Poziom dźwięku LEQ w dB przy prędkościach 70 – 90 km/h	
		wg krzywej kor. A	wg krzywej kor. G
Autobus 1	M3	74	110
Autobus 2	- „ -	73	115
Autobus 3	- „ -	66	110
Autobus 4	- „ -	74	115
Autobus 5	- „ -	67	110
Ciągnik siodłowy 1	N3	70	100
Ciągnik siodłowy 2	N3	70	100
Ciągnik siodłowy 3	N3	70	100
Ciągnik siodłowy 4	N3	70	100
Samochód ciężarowy 1	N3	73	100
Samochód ciężarowy 2	N3	72	100
Samochód ciężarowy 3	N3	70	98
Samochód ciężarowy 4	N3	70	97
Podwozie samochodu 1	N3	70	100
Podwozie samochodu 2	N3	70	100
Samochód ciężarowy 1	N1	72	100
Samochód ciężarowy 2	N1	72	103
Samochód ciężarowy 3	N1	75	100

Eksperci rosyjscy stwierdzili [11], że pozycja okien znacząco wpływa na poziom infradźwięków wewnątrz pojazdu (tab. 6). Różnice wynoszą średnio od 10-17 decybeli. Jeśli tylne boczne okno jest otwarte, może powodować rezonans akustyczny (efekt podobny do rezonatora Helmholza). Przy częstotliwości rezonansowej następuje wzmocnienie natężenia drgań, bardzo dobrze słyszalne. Przeprowadzone badania wskazują, że w większości przypadków rezonator pracuje na częstotliwości 8-16 Hz.

W trakcie prowadzonych badań w Rosji stwierdzono, że poziomy ciśnienia akustycznego we wnętrzu badanego pojazdu osobowego (tabela 6), przekroczyły dopuszczalne wartości, nawet 300 razy [4] i są bardzo szkodliwe dla ludzi, tworzą niebezpieczne sytuacje na drodze. Dlatego też,

[4] Zgodnie ze skalą logarytmiczną i prawem Webera-Fechnera, wrażenia słuchowe są proporcjonalne do logarytmu bodźca. Dwukrotny wzrost natężenia dźwięku oznacza wzrost poziomu głośności o ok. 3 dB, 10 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 10 dB, 100 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 20 dB, 1000 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 30 dB.

należy zwracać szczególną uwagę podczas ustalania dopuszczalnych wartości infradźwięków dla poszczególnych stanowisk pracy.

Tab. 6. Poziom infradźwięków wewnątrz samochodu osobowego
Tab. 6. Infrasound levels in the interior of a passenger car

Prędkość km/h	Pozycja okien	Poziom ciśnienia akustycznego w oktawowym paśmie częstotl. 16 Hz	Ogólny poziom ciśnienia akustycznego dB Lin.
70	Wszystkie okna zamknięte	74	95.7
70	Tylne prawe okno otwarte na ⅓, pozostałe zamknięte	117.9	118
70	Tylne prawe okno otwarte na ½, pozostałe zamknięte	129.1	129.1
70	Tylne prawe okno całkowicie otwarte, pozostałe zamknięte	130.5	130.5
70	Tylne lewe okno całkowicie otwarte, pozostałe zamknięte	125.8	125.8
70	Przednie lewe okno całkowicie otwarte, pozostałe zamknięte	122.5	122.5
80	Wszystkie okna zamknięte	76.1	117.4
80	Tylne prawe okno całkowicie otwarte, pozostałe zamknięte	132.2	132.2
90	Wszystkie okna zamknięte	77.6	112.9
90	Tylne prawe okno całkowicie otwarte, pozostałe zamknięte	133.1	133.2

Fale infradźwiękowe mogą także wpływać na sygnały bioelektryczne (EEG) mózgu człowieka. W mózgu człowieka fale alfa zostały wykryte przez Bergera w 1929 r. Ich rytm składa się z fal o częstotliwości 7-14 Hz. Rytm fal beta to zakres częstotliwość 14-30 Hz. Rytm fal theta zakres częstotliwość 4-7 Hz. Poniżej 4 Hz to fale delta. Sygnały wielkości 6, 6 Hz powodują depresję, sygnały 7,83 Hz - wspaniałe samopoczucie, a sygnały 10,80 Hz - duże zdenerwowanie, furię.

W stanie normalnego funkcjonowania (przebudzenia), w czasie naszych codziennych zajęć dominującą częstotliwością jest częstotliwość typu beta. Cykl alfa na ogół pojawia się w stanie głębokiego relaksu oraz tuż przed zaśnięciem lub, zaraz po przebudzeniu. Na częstotliwości theta mózg pracuje na granicy przebudzenia. Częstotliwości delta charakteryzują głęboki sen. Kluczem do korzystania z pełni możliwości naszego umysłu jest umiejętność samodzielnego obniżania dominującej częstotliwości swojego mózgu z poziomu beta do alfa i theta przy zachowaniu pełnej świadomości.

Badania wpływu infradźwięków na sygnały bioelektryczne mózgu prowadzone były przez AGH [2, 3]. Badania przeprowadzono dla niskoczęstotliwościowej fali akustycznej o poziomie ciśnienia akustycznego 110dB na populacji 33 osób. Sygnał EEG był przedstawiony bezpośrednio w domenie czasowej, jako przebieg zmian wymiaru fraktalnego HFD (Higuchi Fractal Dimension), obliczanego dla krótkich okien czasowych [5]. Algorytm Higuchiego jest skuteczną i relatywnie prostą metodą na obliczenie wymiaru fraktalnego zarejestrowanych biopotencjałów mózgowych człowieka. Przeprowadzone badania dowiodły, że hałas infradźwiękowy wpływa na centralny układ nerwowy człowieka, powoduje uczucie nadmiernego zmęczenia, senności oraz obniżenia sprawności psychomotorycznej.

U. Sandberg [13, 14] prowadził badania wpływu hałasu infradźwiękowego na kierowców i stwierdzał, że hałas o częstotliwości dominującej 20 Hz i poziomie ciśnienia akustycznego 90-115 dB, powoduje narastanie stanu zmęczenia, senność oraz zmniejszenie wydolności psychofizjologicznej.

U. Landström [6, 7] stwierdził, że dla częstotliwości 2-20 Hz, przy poziomie ciśnienia akustycznego 115-120 dB, następuje wydłużenie czasu reakcji w teście sprawności psychomotorycznej o 30-40 %.

S. Benton [1] na podstawie uzyskanych wyników stwierdził, że działanie hałasu infradźwiękowego jest uciążliwe, ponieważ zakłóca funkcje fizjologiczne organizmu.

P. N. Dorosenko [4] badał hałas infradźwiękowy o częstotliwości 12 Hz przy poziomie ciśnienia 140 dB. Stwierdził, że 63% badanych skarżyło się na rozdrażnienie, ból głowy, okresowe zawroty głowy, szum w uszach i utrudnione oddychanie. Wykazał, że pogorszenie słuchu poprzez trwałe podniesienie progu słyszalności wzrastało wraz z długością stażu pracy. U 30% badanych obserwował zaburzenia równowagi i koordynacji ruchów.

4. Podsumowanie

Problem wpływu infradźwięków i hałasu infradźwiękowego na kierowców nie jest szczegółowo rozpoznany, ponieważ badania homologacyjne pojazdów, prowadzone według regulaminów Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ [17, 18], obejmują jedynie badania hałasu zewnętrznego pojazdów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że długotrwała i przewlekła ekspozycja na hałas infradźwiękowy przy niskim poziomie ciśnienia akustycznego 90 dB, wywołuje objawy uciążliwości. Najczęściej zgłaszane objawy uciążliwości to: senność, nadmierne zmęczenie, ospałość, bóle głowy, rozdrażnienie, wydłużenie czasu reakcji, osłabienie sprawności psychomotorycznej, wzrost napięcia psychicznego, osłabienie słuchu.

Fale infradźwiękowe są także uciążliwe dla wartości dopuszczalnych przez Polską Normę. Np. fale infradźwiękowe dla poziomów: 90 i 120 dB, z dominującą częstotliwością 5 Hz, wywołują objawy uciążliwości, charakterystyczne do obniżenia stanu czuwania centralnego układu nerwowego, w których kierujący pojazdem ma rozproszoną uwagę, zakłóconą percepcję postrzegania zjawisk z otoczenia oraz zmniejszoną ostrość i pole widzenia. Istnieje pewna analogia i addytywność infradźwięków i alkoholu, objawiająca się zmniejszeniem szybkości reakcji nerwowych.

Nawet krótkotrwała ekspozycja hałasu infradźwiękowego może wywoływać objawy uciążliwości, takie jak senność, rozdrażnienie, bóle głowy, ucisk w uszach, duszność oraz zaburzenia pracy serca.

Ponadto fale infradźwiękowe mogą wywoływać drgania rezonansowe klatki piersiowej, przepony brzusznej i organów trawiennych. Powoduje to zaburzenia systemu oddychania, a przy dłuższym działaniu prowadzi do chorób układu trawienia.

Badania przeprowadzone przez ITS, AGH oraz ekspertów rosyjskich wskazują na występowanie przekroczeń wartości NDN hałasu infradźwiękowego ($L_{G,\,eq\,8h}$ = 102 dB) w różnych pojazdach produkcji krajowej i zagranicznej, co stanowi istotną uciążliwość w środowisku pracy kierowców, może mieć wpływ na obniżenie sprawności psychofizycznej kierowców, powodować rozproszenie uwagi, wywoływać zmęczenie i senność, tym samym może być przyczyną wypadków drogowych.

Istnieje możliwość kontroli poziomu hałasu infradźwiękowego w pojeździe. Okazuje się, że hałas ten może być powodowany przez pracujący silnik, pulsujące powietrze, czy nawierzchnię jezdni. Niezbędne jest więc prowadzenie dalszych badań w celu rozpoznania narażenia kierowców na hałas infradźwiękowy w środowisku pracy i opracowania metod przeciwdziałania temu zjawisku.

Literatura

[1] Benton, S., *Experiments into the effects of low frequency noise upon human behaviour; a pilot study*, Proceedings of Internoise, p.891-894, 1983.

[2] Damijan, Z., Panuszka, R., Kowalczyk-Hauser, M., Iwaniec, M., Grochala, M., Cioch, W., *Wpływ hałasu infradźwiękowego na potencjały bioelektryczne mózgu człowieka*, Polska Akademia Nauk, Komitet Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej, Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki, XI krajowa konferencja naukowa, T 2, Warszawa, grudzień 1999.

[3] Damijan, Z., Panuszka, R., *Wpływ hałasu infradźwiękowego na wybrane parametry sygnału EEG*, Polskie Towarzystwo Akustyczne, Oddział Krakowski, XLVI Otwarte Seminarium z Akustyki OSA'99, Kraków–Zakopane 14–17 września 1999.

[4] Dorosenko, P. N., Stepcuk, I. D., *Gigieniceskaja ocenka kombinirovanogo vozdiejstva infrazvuka i niskocastotnog suma nna sluchovoj i vestibuljarnyj analizator kpmpresorscikov*, Gigiena Truda i Profiesjonalnyje Zabolievania, 1:35-58, 1983.

[5] Higuchi, T., *Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory,* Phys D. 31:277–283,1988.

[6] Landström, U., Lindblom-Häggqvist, S., Löfstedt, P., *Low frequency noise in lorries and correlated effects on drivers,* Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 7, 104-109, 1988.

[7] Landström, U., Lundström, R., Byström, M., *Exposure to infrasound perception and changes in wakefulness*, Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 2,1-11. 1983.

[8] ISO 7196. Acoustic. Frequency weighting characteristic for infrasound measurement. 1995.

[9] ISO 9612. Acoustic. Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in the working environment, 1997.

[10] Polska Norma PN-86/N-01338. Hałas infradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów. (Infrasonic noise. Acceptable levels and measurements).

[11] Report of the Working Party of Noise (GRB). United Nations, Economic and Social Council. Inland Transport Committee. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29). Distr. General TRANS/WP.29/GRB/38. 23 - 24 September, 2004, GRB-40-3. 15 October 2004.

[12] 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. Dz. U. 2002, Nr 217, poz. 1833.

[13] Sandberg, U., *Combined effects of noise, infrasounnd and vibration on driver performance.* Proceedings of Internoise p. 887-890, 1983.

[14] Sandberg, U., *Identification of infrasound generation mechanisms in a bus,* Proceedings of the 4th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration, Umeĺ, Sweden: Umeĺ University, pp.1-7-1 - 1-7-11. 1987.

[15] SN. Health standards for infrasound at the workplace No. 2274-80. Russian Ministry of Health, Moscow, 1988.

[16] SN. Health and Safety Norms 2.2.4/2.1.8.583-96. Maximum Permissible Limits of Infrasound at the Working Places. Dwellings and Public Buildings, and on the Territory of Residential Districts. Russian Ministry of Health, Moscow, 1997.

[17] Dyrektywa Rady 70/157/EWG z dnia 6 lutego 1970 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do dopuszczalnego poziomu hałasu i układu wydechowego pojazdów silnikowych. Dz. U. UE. L.70.42.16, 23 luty 1970.

[18] Dyrektywa Komisji 2007/34/WE z dnia 14 czerwca 2007 r. zmieniająca dyrektywę Rady 70/157/EWG odnoszącą się do dopuszczalnego poziomu hałasu i układu wydechowego pojazdów silnikowych w celu jej dostosowania do postępu technicznego. Dz. U. UE. 2007.155.49, 15 czerwca 2007.