

Porównanie efektów zdrowotnych wywołanych zawodową ekspozycją na hałas niskoczęstotliwościowy i hałas słyszalny

Comparative study of the effects of occupational exposure to infrasound and low frequency noise with those of audible noise

Krystyna Pawlas^{1, 4 (a, b, c, e, f)}, Marta Boroń^{1 (c, d, f)}, Jolanta Zachara^{1 (c, d)}, Piotr Szłapa^{1 (d, e)}, Agnieszka Kozłowska^{2 (c, d)}, Karolina Będkowska^{3 (d)}, Lidia Januszewska^{4 (d)}, Iwona Markiewicz-Górka^{4 (d)}, Agata Kawalec^{5 (d)}, Natalia Pawlas^{2 (a, b, d, e, f)}

¹ Zakład Szkodliwości Fizycznych, Fizjologii Pracy i Ergonomii Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu
Kierownik: dr n. przyr. S. Marzec

² Zakład Szkodliwości Chemicznych i Toksykologii Genetycznej Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu
Kierownik: prof. A. Sobczak

³ Zakład Diagnostyki Laboratoryjnej Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu
Kierownik: prof. Z. Olszowy

⁴ Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego im Piastów Śl. we Wrocławiu
Kierownik: dr hab. n. med. K. Pawlas

⁵ Studia doktoranckie Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego im Piastów Śl. we Wrocławiu
Kierownik: dr hab. n. med. K. Pawlas

(a) koncepcja

(b) opracowanie wniosku grantowego

(c) zebranie materiału do badań

(d) badania laboratoryjne

(e) statystyka

(f) opracowanie tekstu i piśmiennictwa

STRESZCZENIE

Wstęp. Celem pracy było porównanie skutków zawodowej ekspozycji na hałas z dominującym udziałem hałasu niskoczęstotliwościowego ze skutkami ekspozycji na hałas tzw. słyszalny, badano też grupę osób nie ekspozowanych jako grupę kontrolną. **Materiał i metody.** Przebadano 307 osób z 12 zakładów pracy. **Wyniki.** W grupie ekspozowanej na hałas słyszalny stan narządu słuchu był gorszy we wszystkich badanych parametrach w porównaniu do grupy LFN. **Wnioski.** Wyniki badań wskazują, że hałas słyszalny jest bardziej szkodliwy niż hałas niskoczęstotliwościowy we wszystkich badanych parametrach. Mimo długiej ekspozycji zawodowej stwierdzone zmiany w stanie zdrowia grupy LFN nie wykazują cech określanych w literaturze jako choroba wibroakustyczna.

Słowa kluczowe: infradźwięki, hałas niskoczęstotliwościowy, hałas słyszalny skutki zdrowotne, ekspozycja zawodowa

SUMMARY

Background. The study aimed to compare effects of occupational exposure to low frequency noise (LFN) in comparison with those of audible noise (AN). **Material and methods.** Three groups of 307 workers (I – exposed to LFN, II – exposed to audible noise – AN, and III- controls) were examined. **Results.** Blood pressure and other biochemical parameters were worse in the group exposed. All parameters of hearing were worse in the AN group in comparison with LFN one in whole range of frequency. The same trends were found in posturography. **Conclusions.** The results of the study showed that audible noise is more hazardous than LFN. The results did not support thesis on vibroacoustic disease.

Key words: infrasound, low frequency noise, regulations, audio noise, health effects, occupational

WPROWADZENIE

Infradźwięki pochodzenia naturalnego są powszechnym zjawiskiem w naturze i od zawsze towarzyszyły ludzkości. Jednakże ze względu na rozwój technologii wytwarzających infradźwięki o znacznych energiach rośnie odsetek populacji ekspozowanych na ten hałas zarówno w miejscu pracy jak i codziennego życia. Najsilniejsze antropogeniczne źródła są związane z podbojem kosmosu i lotnictwem i większość badań poświęconych skutkom ekspozycji związanej z tym hałasem pochodzi z lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Były ukierunkowane głównie na narażenia krótkotrwałe, ale o bardzo dużych natężeniach. Były wykonywane przede wszystkim w warunkach laboratoryjnych, gdzie wszystkie parametry ekspozycji kontrolowano i można było ekspozować badanych nawet na pojedyncze częstotliwości. Są to głównie badania rosyjskie i amerykańskie. Na podstawie analizy dostępnych opublikowanych streszczeń i materiałów wynika, że były prowadzone na niewielkich (często na jedno najwyżej kilkusobowych) grupach ekspozowanych krótko, często nawet tylko kilkadziesiąt sekund [1, 2] ale za to o wysokim natężeniu, nawet sięgającym 170 dB jak w przypadku badań Sherera [3]. Dobór stosowanych parametrów był podyktowany przede wszystkim spodziewanymi ekspozycjami podczas startów pojazdów kosmicznych i oceną wpływu takich ekspozycji na zdrowie (układ krążenia, słuch, narząd równowagi), możliwością wykonywania zadań podczas lotów, czy stanem emocjonalno-psychicznym. Do tej pory niewiele jest publikacji poświęconych skutkom zdrowotnym zawodowej długotrwałej ekspozycji na hałas o niskich częstotliwościach [4–6]. Rozpowszechnienie urządzeń technologii wytwarzających infradźwięki, w szczególności rosnąca gwałtownie liczba elektrowni wiatrowych, spowodowała wzrost zainteresowania wpływem infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego na organizm człowieka. Ekspozycja na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy w miejscu pracy dotyczy przede wszystkim kierowców środków transportu, operatorów sprzętów tłokowych, pomp próżniowych, pieców hutniczych (zwłaszcza pieców elektrycznych łukowych), młotów kuźniczych, maszyn drogowych, niskoobrotowych maszyn przepływowych (sprężarki, wentylatory, silniki), urządzeń energetycznych (młyny, kotły, kominy), pieców hutniczych oraz urządzeń odlewniczych (formierki, kraty wstrząsowe) i innych. W ekspozycji środowiskowej na ten zakres częstotliwości są ekspozowane osoby mieszkające w sąsiedztwie lotnisk i dróg komunikacyjnych o dużym nasileniu ciężkiego sprzętu oraz

w przemysłowych źródłach takiego hałasu. Natężenie dźwięku od takich źródeł jest znacząco niższe, ale za to ekspozycja znacząco wydłużona. Największe obawy społeczne dotyczą infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego generowanego przez farmy wiatrowe [5, 6].

Do tej pory jest bardzo niewiele publikacji poświęconych skutkom zdrowotnym zawodowej czy środowiskowej długotrwałej ekspozycji na hałas o niskich częstotliwościach. Opublikowane prace pokazują, że dominującym efektem wpływu infradźwięków na organizm w ekspozycji zawodowej i pozazawodowej jest ich uciążliwe działanie, występujące nawet już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia. Efekt jest bardzo zindywidualizowany. Stwierdzano go nawet przy poziomach ok. 55 dB. W pozasłuchowych efektach ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy istnieje zbyt wiele rozbieżności, a badania wpływu infradźwięków na człowieka są nadal fragmentaryczne, zwłaszcza badania skutków długotrwałej ekspozycji w warunkach pozalaboratoryjnych [4–7]. W piśmiennictwie ukazały się prace głównie zespołu Castello Branco & Alves Perreira dotyczące tzw. choroby wibroakustycznej (w skrócie VAD od *vibroacoustic disease*) jako specyficznego skutku ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy (o poziomie powyżej 90–110 dB i częstotliwości z zakresu poniżej 500 Hz) stwierdzonej pierwszy raz przez ten zespół wśród personelu obsługi technicznej lotniska, a potem także i w innych grupach. Mimo tego, że do tej pory żaden inny ośrodek naukowy nie opublikował prac z podobnymi wynikami, to brak jest także argumentów za odrzuceniem hipotezy VAD [8]. Badania wpływu infradźwięków na człowieka są nadal fragmentaryczne, zwłaszcza badań skutków długotrwałej ekspozycji zawodowej.

Celem pracy było porównanie skutków zawodowej ekspozycji na hałas z dominującym udziałem hałasu niskoczęstotliwościowego ze skutkami ekspozycji na hałas tzw. słyszalny.

MATERIAŁ I METODY

Do badań wytypowano 12 zakładów pracy ze stanowiskami z ekspozycją na hałas niskoczęstotliwościowy. Badaniami objęto 307 osób w tym 86 osób z grupy kontrolnej nieekspozowanej zawodowo na hałas, 129 osób ekspozowanych na hałas z dominującym udziałem infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego oraz 92 osoby ekspozowane na hałas z dominującym udziałem hałasu słyszalnego (audio).

Pracownicy byli badani przed rozpoczęciem pracy. Panel badań obejmował:

- zebranie wywiadu od badanego dot. historii zawodowej i zdrowotnej;
- audiometrię tonalną, celem ustalenia wartości progowych słuchu na częstotliwościach: 500, 1000, 2000, 4000, 6000 i 8000 Hz za pomocą audiometru firmy Madsen;
- Test Bourdona polegający na wyszukaniu z czasie 1 minuty litery „m” w ciągu przypadkowych liter, dający informacje o stanie zmęczenia;
- pomiar ciśnienia tętniczego krwi w pozycji siedzącej na lewej ręce po przynajmniej 10 minutach odpoczynku, według metody WHO;
- podstawowe badanie moczu z oznaczeniem poziomu stresu oksydacyjnego w moczu metodą immunoenzymatyczną (ELISA) za pomocą gotowych kitów do wyznaczania stężenia malonyldialdehydu (MDA), jednego z produktów peroksydacji lipidów przy użyciu testu TBARS Assay Kit Nr kat. 10009055, firmy Cayman Chemical, zgodnie z instrukcją zamieszczoną przez producenta. Oznaczenie oparte jest na reakcji między MDA i kwasem tiobarbiturowym (TBA) w wysokiej temperaturze 90-100°C i w środowisku kwaśnym. Produktem tej reakcji jest barwny kompleks (thio-barbituric acid-reactive substances-TBARS), którego maksimum absorpcji występuje przy długości fali $\lambda = 530-540$ nm. Drugim parametrem stresu było oznaczanie markera uszkodzenia oksydacyjnego, DNA, 8-hydroxy-2-deoxyguanozyny (8-OH-dG). Ilościowa ocena stężenia 8-hydroxy-2-deoxyguanozyny (8-OH-dG) w moczu została dokonana w oparciu o kompetycyjną metodę ELISA, z użyciem zestawu firmy BioVendor, nr kat. RSCN213100R, zgodnie z instrukcją zamieszczoną przez producenta. Absorbancję próbek odczytano przy długości fali 450 nm z użyciem spektrofotometru mikroplótkowego PowerWave XS firmy BIO-TEK. Stężenie 8-OH-dG w próbkach odczytano z przygotowanej krzywej wzorcowej. W opisanej metodzie ekstynkcji stężenie końcowego produktu barwnego jest odwrotnie proporcjonalne do stężenia 8-OHdG w badanych próbkach.
- baterię testów elektrofizjologicznych składającej się z:
 - I. Audiometrii potencjałów wywołanych z pnia mózgu (BSR – *Brain Stem Response Audiometry*), z zastosowaniem audiometru firmy Nicolette, model Viking. Do badania stosowano trzask szerokopasmowy (click) o czasie trwania 0,125 ms. Badania były prowadzone w specjalnym pomieszczeniu Poziom stosowanego sygnału wynosił 80 dB. Były określane

czasy latencji fal I, III na poziomie 80 dB nHL, oraz interwały międzyfalowe.

- II. Audiometrii impedancyjnej dla oceny patologii w obrębie ucha środkowego oraz wyznaczenia progu odruchu strzemiączkowego. Do badań był stosowany audiometr firmy Madsen, model Zodiac 901;
- III. Posturografii – jest to nowa metoda do oceny zmian w centralnym układzie nerwowym wywołwanym przez czynniki neurotoksyczne. Jest metodą czułą i wykrywa zmiany powodowane nawet przez niskie stężenia czynników neurotoksycznych. Jest metodą nieinwazyjną, łatwą do wykonania i niezależną od poziomu intelektualnego badanego. W metodzie określa się zaburzenia neuromotoryczne, poprzez ocenę zakresu „pływania” punktu ciężkości utrzymywanego w normalnym stabilnym położeniu równowagi poprzez centralny układ nerwowy. Dokonuje się zapisu sygnałów ze specjalnej platformy badawczej dla 4 warunków: badany stał swobodnie przez 30 sek. z otwartymi oczami, 30 sek. z zamkniętymi oczami, kolejne 2×30 sek. na warstwie gąbki o grubości 15 mm z otwartymi oczami i zamkniętymi oczami;
- IV. Otoemisji akustycznej z zastosowaniem Transient Evoked Otoacoustic Emmission (TEAOE, badanie bezinwazyjne obiektywne, krótkotrwałe (ok. 30 sek.). Badanie polegało na tym, że do ucha badanego wkładano sondę umocowaną w słuchawce, która posiadała nadajnik i mikrofon odbierający. Nadajnik podawał sygnał w postaci krótkotrwałego sygnału, a odbiornik rejestrował odpowiedź komórek rzęsatych pobudzonych tych sygnałem. Program sterujący dokonywał analizy zarejestrowanego sygnału. Po zakończeniu badania oceniano zarejestrowane wyniki biorąc pod uwagę odtwarzalność sygnału (korelację), stosunek sygnału do szumu i wartość sygnału.
- V. Pomiaru czucia wibracji z zastosowaniem miernika czucia wibracji – badanie nieinwazyjne z zasady podobne do badań audiometrii konwencjonalnej. Badanie polega na tym, że badany kładzie kolejno palce na elemencie drgającym miernika z różną częstotliwością i różnym natężeniem. Natężenie drgań narasta aż do momentu, gdy badany zasygnalizuje że odczuwa drgania. W ten sposób wyznacza się progi czucia wibracji dla różnych częstotliwości. Z uwagi na ograniczenia czasowe dla celu tej pracy badano tylko czucie w palcu piątym obu rąk.

Równocześnie z badaniami pracowników wyznaczano, za pomocą mierników poziomu dźwięku SVAN 945A i 912AE, parametry ekspozycji z zastosowaniem zarówno krzywej G, krzywych A, C i Lin, jak i analizy tercjowej i oktafowej w paśmie 2 do 8000 Hz. Poziom dźwięku oznaczano metodą pośrednią, wyznaczając poziomy równoważne poszczególnych operacji i ich czas trwania, a następnie wyliczając poziom ekspozycji na hałas dla każdej badanej osoby.

Na podstawie energii akustycznej dla tercji o częstotliwościach środkowych z pasma 2 Hz do 8000 Hz obliczono sumaryczną energię ekspozycji dla pasm 2–250 Hz i 500–8000 Hz i odpowiednio do tego dokonano podziału badanej grupy na osoby nie ekspozowane na hałas, osoby ekspozowane na hałas z dominantą częstotliwości niskich z przedziału 2–250 Hz (infradźwięki i częstotliwości niskie) oraz osoby ekspozowane na hałas z dominantą częstotliwości 500–8000 Hz (częstotliwości wysokie – audio).

Utworzono w ten sposób 3 podgrupy:

- podgrupę 0, kontrolną bez zawodowej ekspozycji na hałas, liczącą 86 osób;
- podgrupę 1, liczącą 129 osób – ekspozycja na infradźwięki i częstotliwości niskie (od ok. 1,4 Hz do ok. 354 Hz), oktawy od 2 Hz do 250 Hz (podgrupa LFN);
- podgrupę 2, liczącą 92 osoby, z dominantą w paśmie częstotliwości słyszalnych – audio, oktawy od 500 Hz do 8000 Hz (od ok. 355 Hz do ok. 11 225 Hz, podgrupa AudioN).

Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej nr 3/2011 przy Instytucie Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu.

WYNIKI

W tabeli I pokazano podstawowe dane demograficzne badanych podgrup.

Różnice w wieku i stażu pracy nie były statystycznie istotne. Nie było też różnic istotnych statystycznie między grupami pod względem BMI (*Body Mass Index*), ilością spożywanej kawy, historią chorobową w obrębie uszu, oraz leków, takich jak antybiotyki aminoglikozydowe, aspiryna, furosemid. W grupie ekspozowanej na hałas jest większy odsetek palaczy. Jeśli chodzi o płęć, to w grupie kontrolnej jest nadreprezentacja kobiet w porównaniu do grup narażonych na hałas, stąd też różnica w historii służby wojskowej i w odsetku palaczy. Niestety z uwagi na specyfikę zakładów, w których przeprowadzono

badania, stanowiska produkcyjne związane z ekspozycją na czynniki szkodliwe, są zdominowane przez mężczyzn. Osoby do grupy kontrolnej rekrutowano z tych zakładów, gdzie wykonywano badania i najczęściej były to osoby zatrudnione na stanowiskach biurowych, niestety mężczyźni najczęściej nie wyrażali zgody na badania, zwłaszcza po informacji o poborze krwi, stąd nadreprezentatywność kobiet w grupie kontrolnej.

Tabela I. Podstawowe dane demograficzne (wartości średnie ± odchylenie standardowe)

Table I. Basic demographic data (mean values ± standard deviation)

Grupa	Kontrola	LFN	Audio N	Poziom istotności różnic P
Liczba osób	86	129	92	
Wiek w latach	45,2 ± 10,9	45,5 ± 9,7	48,7 ± 10,3	0,32
Płeć K/M	40/41	6/116	5/87	0,00
BMI w kg/m ²	27,5 ± 4,4	28,1 ± 3,8	27,6 ± 3,9	0,54
Staż pracy w latach	18,3 ± 11,2	20,1 ± 10,8	24,9 ± 13,3	0,67
Lata pracy w hałasie	*)1	18,6 ± 9,7	21,6 ± 13,1	0,03
Ciśnienie skurczowe w mm Hg	128 ± 14	135 ± 18	134 ± 16	0,02
Ciśnienie rozkurczowe w mm Hg	86 ± 13	90 ± 17	89 ± 12	0,03
Cholesterol podwyższony (n)	23	28	21	0,52
Palenie (n)	16	42	24	0,04
Kawa (n)	70	100	71	0,98
Alkohol (n)	15	85	73	0,00

BMI – wskaźnik masy ciała (*Body Mass Index*)

LFN – osoby narażone na hałas z dominantą niskich częstotliwości (*workers exposed to Low Frequency Noise*)

AudioN – osoby narażone na hałas z dominantą wysokich częstotliwości (≥500 Hz) (*workers exposed to audio noise*)

*)1 – 6 osób było w przeszłości narażonych na hałas przez 8,1 ± 4,6 lat (*6 person were exposed to occupational noise for 8,1 ± 4,6 years in the past*)

Dzienna dawka całkowitej energii akustycznej osób z grupy LFN była ponad trzykrotnie (2,7) wyższa niż osób ekspozowanych na hałas słyszalny, w 97% skupiona w paśmie o częstotliwościach środkowych oktaw 2–250 Hz (Tabela II). W przypadku hałasu słyszalnego 75% energii przypadało na zakres częstotliwości słyszalnych, a 25 na zakres częstotliwości niskich.

Tabela II. Energia hałasu w całym zakresie częstotliwości i podzakresach niskich (2 Hz – 250 Hz) i słyszalnych częstotliwości (500 Hz – 8000 Hz) w badanych podgrupach osób zawodowo ekspozowanych

Table II. Energy of sound in the whole frequency range and in low frequency range (2Hz – 250 Hz) and audio frequency range (500Hz – 8000 Hz)

Zakres częstotliwości w Hz	Energia hałasu w Pa ² s					
	Grupa ekspozowana na hałas niskoczęstotliwościowy			Grupa ekspozowana na hałas słyszalny		
	średnia ± SD	min	max	średnia ± SD	min	max
HAŁAS_SUMA_CAŁOŚĆ	2,70 ± 3,00	0,02	17,41	1,00 ± 1,18	0,03	5,74
HAŁAS_SUMA_2-250	2,63 ± 2,52	0,01	15,00	0,26 ± 0,16	0,01	0,72
HAŁAS_SUMA_500-8000	0,25 ± 0,21	0,00	0,77	0,80 ± 1,07	0,01	5,50

Dawka energii hałasu w paśmie częstotliwości niskich grupy ekspozowanej na hałas słyszalny była dziesięciokrotnie niższa a w paśmie hałasu słyszalnego czterokrotnie wyższa, niż te, które otrzymywali pracownicy ekspozowani na hałas niskoczęstotliwościowy. Ekspozycje były zróżnicowane w szerokim zakresie w całym paśmie częstotliwości.

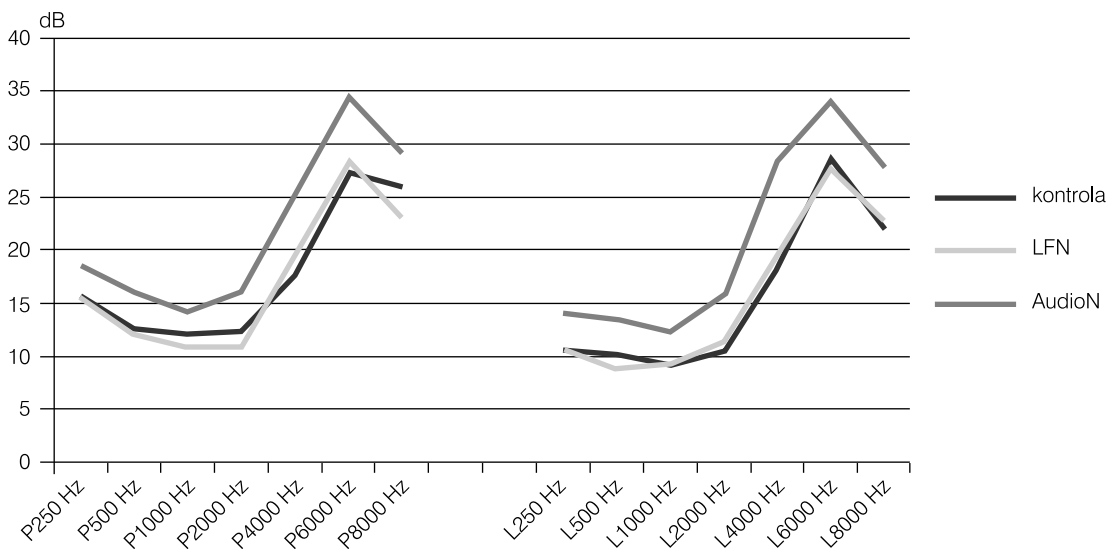
Ciśnienie krwi skurczowe i rozkurczowe było wyższe w grupie narażonych w porównaniu do grupy kontrolnej. Nie było różnic istotnych statystycznie między narażonymi na infradźwięki i hałas niskoczęstotliwościowy (podgrupa 1) a narażonymi na hałas słyszalny (podgrupa 2). Wynosiło ono odpowiednio: 128 ± 14 mm Hg/86 ± 13 mm Hg w grupie kontrolnej, 135 ± 18 mm Hg/90 ± 17 mm Hg w grupie narażonych na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy, oraz 134 ± 16 mm Hg/89 ± 12 mm Hg w grupie narażonych na hałas słyszalny. Grupy nie różniły się statystycznie istotnie pod względem chorób nerek, hipercholesterolemii i cukrzycy. Ciśnienie skurczowe dodatkowo korelowało z wiekiem, piciem alkoholu, długością pracy w narażeniu na hałas oraz z typem ekspozycji na hałas (gdzie typ 1 była to ekspozycja na hałas infradźwiękowy, typ 2 ekspozycja na infradźwięki z hałasem niskoczęstotliwościowym, typ 3 ekspozycja na hałas niskoczęstotliwościowy, typ 4 ekspozycja na hałas słyszalny z komponentą średnich i wysokich częstotliwości, i typ 5 ekspozycja na hałas wysokoczęstotliwościowy). Ciśnienie rozkurczowe korelowało jedynie z ilością pitej dziennie kawy. Zarówno ciśnienie skurczowe jak i rozkurczowe było niższe w grupie kobiet. W badanej grupie nie wykazano związku między schorzeniami a parametrami ekspozycji. Bóle głowy były częstsze w grupie ekspozowanej na hałas niskoczęstotliwościowy i infradźwiękowy w porównaniu do grupy ekspozowanej na hałas słyszalny, i korelowały dodatnio z ilością wypalanych dziennie papierosów. Szumy i dzwonie-

nie w uszach korelowały dodatnio z wiekiem, ilością pitego alkoholu i długością ekspozycji, i były częstsze w grupie ekspozowanej na hałas niskoczęstotliwościowy.

Badania audiometryczne za pomocą audiometrii tonalnej i otoemisji akustycznej wywołanej trzaskiem wykazały, że słuch osób badanych jest gorszy w grupie narażonej niż kontrolnej. Po podziale grupy narażonych na hałas na podgrupę LFN i podgrupę AudioN, widać, że progi słuchu w podgrupie kontrolnej i podgrupie LFN są zbliżone. Najgorszym słuchem wykazała się podgrupa ekspozowana na hałas słyszalny AudioN w audiometrii konwencjonalnej (Rycina 1). W przypadku otoemisji akustycznej podgrupa ekspozowana na hałas niskoczęstotliwościowy miała wyniki gorsze od grupy kontrolnej ale lepsze od podgrupy ekspozowanej na hałas słyszalny, uśrednione wartości parametru korelacja przedstawiono na rycinie 2.

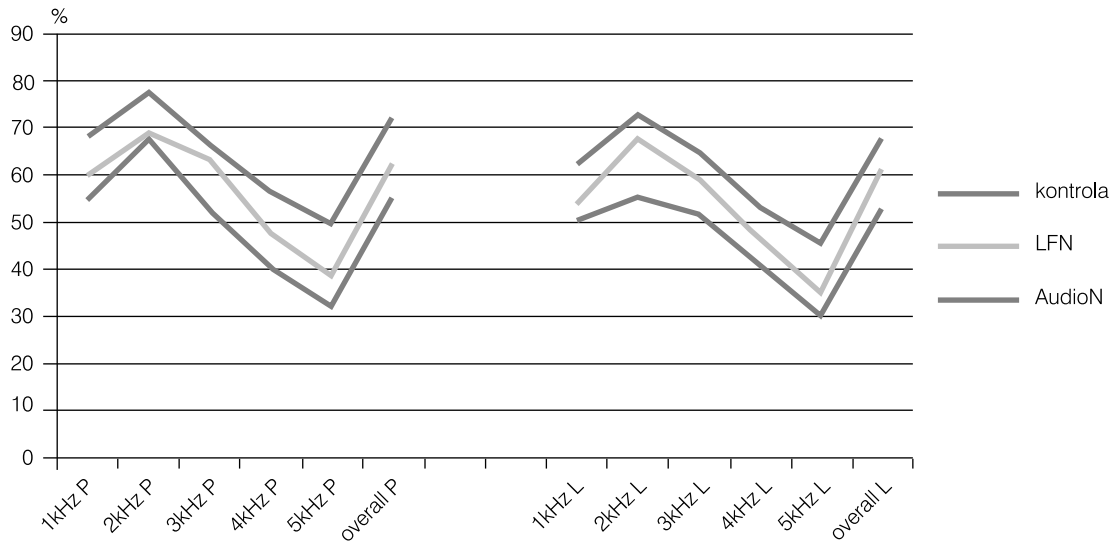
W regresji wielokrotnej wpływ wieku i całożyciowa dawka hałasu słyszalnego wykazały zależność istotną statystycznie z położeniem progu słuchu (obustronnie). Położenie progu odruchu strzemiączkowego nie różniło się między badanymi podgrupami.

Korelacja rang Spearmana pokazała, że ubytki korelują z wiekiem, typem hałasu – im większa zawartość wysokich częstotliwości tym ubytki większe, oraz z czasem ekspozycji na hałas. Podobne wyniki zależności uzyskano w badaniu otoemisji akustycznej wywołanej trzaskiem. Ponadto otoemisja akustyczna była słabsza w grupie mężczyzn w porównaniu do kobiet. W regresji wielokrotnej nie wykazano żadnych związków istotnych statystycznie między parametrami otoemisji akustycznej a badanymi determinatami. W badaniu audiometrią impedancyjną lepsze wyniki uzyskały kobiety, progi odruchu strzemiączkowego podnosiły się wraz z czasem ekspozycji na hałas dla wszystkich częstotliwości poza 1000 Hz. W całym paśmie częstotliwości



Rycina 1. Położenie progów słuchu w audiometrii tonalnej osób ekspozowanych na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy (LFN), hałas słyszalny (AudioN) i grupy kontrolnej. Literką P przy częstotliwościach oznaczono wyniki dla ucha prawego, a literka L dla ucha lewego

Figure 1. Hearing threshold of workers exposed to infrasound and low frequency noise (LFN), audio noise (AudioN) and controls determined by tone audiometry. Results for the right ear are marked by letter P and for the left ear by letter L



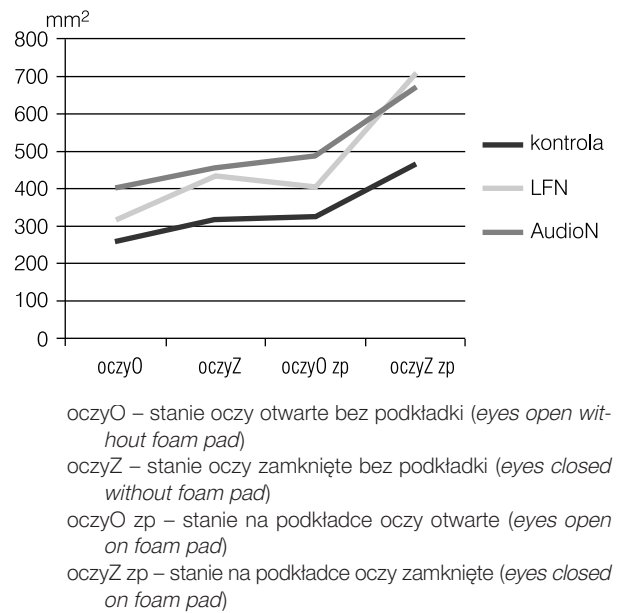
Rycina 2. Średnie wartości korelacji w badaniu otoemisji akustycznej wywołanej trzaskiem osób ekspozowanych na hałas infradźwiękowy (LFN) i niskoczęstotliwościowy, hałas słyszalny (AudioN) i grupy kontrolnej. Literką P przy częstotliwościach oznaczono wyniki dla ucha prawego, a literka L dla ucha lewego

Figure 2. Mean correlations of workers (in %) exposed to infrasound and low frequency noise (LFN), audio noise (AudioN) and controls determined by Transient Evoked Acoustic Otoemissions (TEAOs). Results for the right ear are marked by letter P and for the left ear by letter L

progi odruchu strzemiączkowego dodatkowo korelowały z BMI. Po wprowadzeniu tych zmiennych do modelu regresji wielokrotnej jedynie wiek i palenie papierosów pokazały wpływ istotny statystycznie na położenie progu odruchu strzemiączkowego

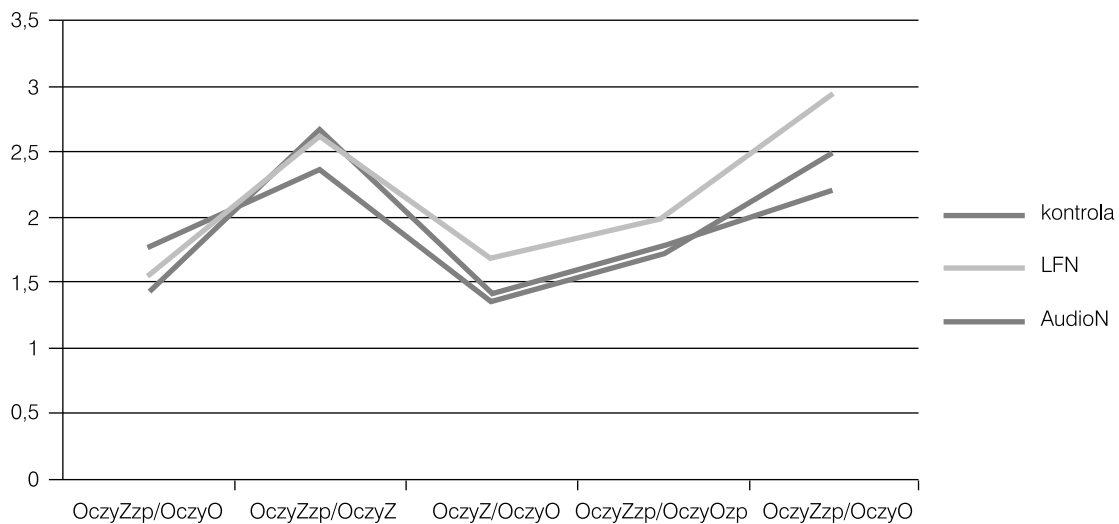
obustronnie dla częstotliwości 2000 Hz. Nie stwierdzono żadnych różnic między badanymi grupami w przypadku badań wykonanych za pomocą audiometrii odpowiedzi wywołanych z pnia mózgu oraz palestejometrii.

Badania stanu stabilności równowagi były wykonywane za pomocą posturografii statycznej. Oceniano z pola powierzchni wychyleń środka ciężkości w warunkach stania na platformie posturograficznej z oczami otwartymi (oczyO), stania na platformie posturograficznej z podkładką gąbczastą pod stopami z oczami otwartymi (oczyO z p), stania na platformie z oczami zamkniętymi (oczyZ) i w końcu stania na platformie z oczami zamkniętymi i z podkładką gąbczastą pod stopami (oczyZ z p). Stanie z zamkniętymi oczami wyłącza narząd wzroku z systemu sterowania postawą, stanie na podkładce gąbczastej zaburza sygnały dla proprioceptorów, a stanie z oczami zamkniętymi na podkładce wyłącza narząd wzroku i zaburza prace proprioceptorów wymuszając największe obciążenie do sterowania utrzymaniem postawy ośrodkowemu układowi nerwowemu. We wszystkich wariantach badania jedynie narząd przedsionkowy pracuje cały czas tak samo dla utrzymania postawy. Pozwala to na określenie wpływu czynników na jakie ekspozycyjni byli pracownicy na poszczególne części układu równowagi w utrzymaniu pozycji stojącej. Oceniane jest w ten sposób narząd przedsionkowy, narząd wzroku i proprioceptory. Wyniki badanych są przedstawione na kolejnych dwóch rycinach nr 3 i 4.



Rycina 3. Wyniki badania pola pływania środka ciężkości osób ekspozycyjni na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy (LFN), hałas słyszalny (AudioN) i grupy kontrolnej

Figure 3. Body sway area of workers exposed to infrasound and low frequency noise (LFN), audio noise (AudioN) and controls



oczyO – stanie oczy otwarte bez podkładki (eyes open without foam pad)
 oczyZ – stanie oczy zamknięte bez podkładki (eyes closed without foam pad)
 oczyO z p – stanie na podkładce oczy otwarte (eyes open on foam pad)
 oczyZ z p – stanie na podkładce oczy zamknięte (eyes closed on foam pad)

Rycina 4. Porównanie wskaźników typu Romberga pola powierzchni pływania środka ciężkości osób ekspozycyjni na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy (LFN), hałas słyszalny (AudioN) i grupy kontrolnej

Figure 4. Body sway area ratios of workers exposed to infrasound and low frequency noise (LFN), audio noise (AudioN) and controls

Jak widać z rycin osoby eksponowane na hałas uzyskały gorsze wyniki w badaniu stabilności równowagi w porównaniu do grupy kontrolnej. Największe pole pływania środka częstości uzyskiwali pracownicy eksponowani na hałas słyszalny. Wyniki badania stanu narządu słuchu zależały do typu hałasu: gorsze wraz ze wzrostem udziału częstotliwości wyższych, i były gorsze u kobiet niż u mężczyzn.

Postępując podobnie jak zespół Bhattacharya [8, 9] wyliczono też współczynniki typu Romberga dla kolejnych kombinacji zapisu pływania środka ciężkości w warunkach badania. Dzieliąc odpowiednio pole powierzchni wykonane w określonych warunkach badania przez pole powierzchni uzyskane w innych warunkach badania. I tak, oceniając pole powierzchni wykonane podczas stania na podkładce do pola powierzchni wykonanych podczas stania bez podkładki oceniany jest efekt proprioreceptorów. Oceniając zapisy wykonane podczas stania z oczami zamkniętymi w stosunku do zapisów wykonanych z oczami otwartymi oceniany jest efekt narządu wzroku. Natomiast oceniając zapis wykonany wtedy, gdy badany stoi z oczami zamkniętymi na gąbczastej podkładce w stosunku do zapisu, gdy badany stoi z oczami otwartymi oceniany jest efekt narządu przedsionkowego. Wskaźniki przedstawiono na rycinie nr 4. Stosunek pola powierzchni, gdy badany stoi z zamkniętymi oczami na podkładce

do pola powierzchni, gdy badany stoi na platformie z oczami otwartymi (OczyZzp/OczyO) pokazuje, że narząd przedsionkowy jest najbardziej pobudzony u pracowników eksponowanych na hałas niskoczęstotliwościowy. Hałas niskoczęstotliwościowy wywiera także wpływ na narząd wzroku (OczyZzp/OczyO, OczyZ/OczyO; OczyZzp/OczyOzp).

Korelacja rang Spearmana sugeruje wpływ hałasu słyszalnego i palenia papierosów na narząd wzroku i narząd przedsionkowy, oraz wpływ pasma infradźwiękowego na narząd przedsionkowy. Korelacje z pozostałymi czynnikami nie są znamienne statystycznie. W regresji wielokrotnej żaden z badanych parametrów nie wykazywał związku z parametrami równowagi.

Aby ocenić zmęczenie pracą osoby badane rozwiązywały test Bourdona, polegający na wykreślaniu określonej litery w ciągu 60 sekund z ciągu liter. Efektywność wykonywania tego zadania przyjęto jako ocenę zmęczenia. Test był wykonywany dwukrotnie: raz przed rozpoczęciem pracy i drugi raz po zakończeniu dniówki. Poza tym pracownicy sami subiektywnie oceniali stopień swojego zmęczenia w skali 7 punktowej od: 1 – w ogóle nie zmęczony, poprzez 2 – nieco zmęczony, 3 – lekko zmęczony, 4 – średnio zmęczony, 5 – zmęczony, 6 – mocno zmęczony, do 7 – bardzo zmęczony. Uśrednione wyniki dla badanych są przedstawione w tabeli III.

Tabela III. Subiektywna ocena stopnia zmęczenia oraz efektywność rozwiązywania testu Bourdona

Table III. Subjective self-assessment of tiredness and performance of Bourdone test

Grupa	Subiektywna ocena zmęczenia	Przed pracą			Po pracy		
		Liczba skreślonych liter	Liczba skreślonych wierszy	Liczba pominiętych liter	Liczba skreślonych liter	Liczba skreślonych wierszy	Liczba pominiętych liter
Kontrolna	2,4 ± 1,6	43,1 ± 9,4	9,4 ± 2,0	1,9 ± 2,7	36,1 ± 8,5	9,0 ± 2,2	7,8 ± 7,2
Infra + niskie częstotliwości	2,2 ± 1,3	41,5 ± 9,6	9,1 ± 2,0	2,5 ± 4,9	33,1 ± 9,3	8,8 ± 2,3	9,4 ± 8,8
Częstotliwość audio	2,6 ± 1,3	40,1 ± 9,9	9,5 ± 7,7	2,1 ± 3,2	32,9 ± 7,3	8,5 ± 2,2	8,4 ± 9,7

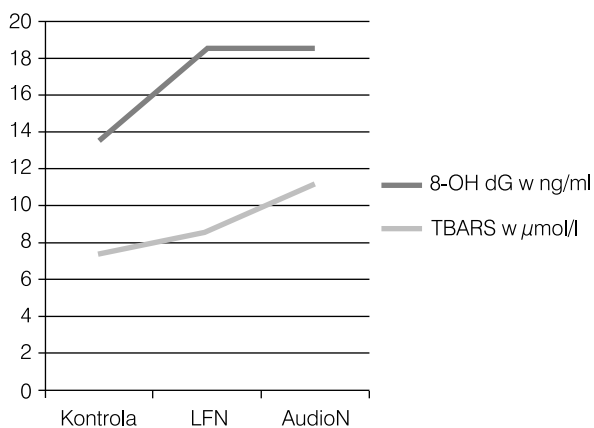
Jak wynika z tabeli, zarówno grupa kontrolna jak i osoby narażone na hałas gorzej wykonywały zadanie po pracy, w grupie narażonej rozrzut wyników był większy niż w grupie kontrolnej. Sprawność była lepsza w grupie kobiet i spadała z wiekiem, nie wykazywała zależności od zawartości częstotliwości w ekspozycji. Natomiast ocena hałasu jako męczącego, uciążliwego i szkodliwego dla słuchu była oceniana częściej przez osoby eksponowane na hałas wysokoczęstotliwościowy i korelowała z energią w paśmie 500–8000 Hz i poziomami A i C dźwięku. Podobnie jak zaburzenia koncentracji i snu w dniu

badania, zaburzenia snu korelowały także z hałasem w zakresie częstotliwości niskich.

Korelacja rang Spearmana pokazała, że sprawność wykonywania zadania spada wraz z wiekiem, była lepsza wśród kobiet, malała z ekspozycją na hałas, zarówno niskoczęstotliwościowy jak i słyszalny, z tym że związki z pasmem słyszalnym były silniejsze. Analiza regresji wielokrotnej wykazała, że sprawność wykonywania tego zadania malała z wiekiem, z poziomem ekspozycji na hałas, zarówno w paśmie do 63 Hz jak i w paśmie od 500 Hz w górę oraz zależała od całodziwowej dawki ekspozycji

na hałas z zakresu do 250 Hz. Badani ekspozowani na hałas słyszalny znacznie częściej oceniali hałas jako męczący i uciążliwy niż badani na niskoczęstotliwościowy, natomiast zaburzenia snu korelowały z hałasem niskoczęstotliwościowym.

Wyniki oznaczania parametrów stresu oksydacyjnego za pomocą oceny końcowych produktów peroksydacji lipidów reagujących z kwasem tiobarbiturowym (TBARS) oraz 8-deoxy-Guanosine (8-OH-dG) jako efekt uszkodzeń cytotoksycznych pokazane są na rycinie 5. W legendzie ryciny nr 5 podane są jednostki w jakich wykonano oznaczenia tych parametrów.



Rycina 5. Poziomy parametrów stresu oksydacyjnego TBARS i 8-OH-dG osób ekspozowanych na hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy (LFN), hałas słyszalny (AudioN) i grupy kontrolnej

Figure 5. Levels of TBARS and 8-OH-dG ratios of workers exposed to infrasound and low frequency noise (LFN), audio noise (AudioN) and controls

Jak widać u osób ekspozowanych na hałas stwierdzono zwiększony poziom stresu oksydacyjnego. Poziom peroksydacji lipidów (TBARS) i uszkodzeń cytotoksycznych 8OH-dG jest najniższy w grupie kontrolnej, TBARS osiągnął najwyższe wartości po ekspozycji na hałas słyszalny a 8-OH-dG u osób ekspozowanych na hałas niskoczęstotliwościowy. Analiza porządku rang Spearmana wskazuje na korelację między hałasem słyszalnym a parametrami stresu oksydacyjnego TBARS i 8-deoxyG. Nie można wykluczyć, że wpływ na to mają inne czynniki środowiska pracy nie oceniane w tym programie, takie jak wysoka temperatura czy wysiłek fizyczny pojawiające się na badanych stanowiskach pracy. Natomiast brak korelacji z parametrami hałasu w zakresie niskich częstotliwości sugeruje, że potencjalne zmiany związane z pojęciem choroby wibroakustycznej nie znalazły w tej pracy potwierdzenia.

Analiza regresji wielorakiej pokazała, że poziom 8-OH-dG jest determinowany wiekiem, a parametry hałasu nie mają znaczenia, to w przypadku TBARS hałas jako całość ma wpływ istotny statystycznie, natomiast nie ma różnicy między hałasem niskoczęstotliwościowym i wysokoczęstotliwościowym (test U-Mana Whitenya).

DYSKUSJA

Liczne badania wykonywane w warunkach laboratoryjnych wykazywały, że hałas niskoczęstotliwościowy wywołuje różnorodne skutki zdrowotne. Zarówno słuchowe jak i pozasłuchowe. Badania te były oparte głównie o krótkoczasowe ekspozycje i wysokie poziomy i pojedyncze częstotliwości na bardzo nielicznych grupach, nawet jednoosobowych. Jedynie w przypadku oceny stopnia uciążliwości ekspozycji grupy były liczniejsze. Badania te pozwoliły na wyznaczenie pewnych poziomów progowych dla tych częstotliwości i były w przeszłości podstawą do ustanowienia najwyższych dopuszczalnych natężeń w środowisku pracy, które z biegiem czasu zniknęły z ustawodawstwa wielu krajów w tym także Polski. Rozpowszechnienie w środowisku turbin wiatrowych wywołało zainteresowanie skutkami zdrowotnymi związanymi z tym zakresem częstotliwości. W warunkach rzeczywistych ekspozycji, czy to zawodowej czy środowiskowej, źródła generujące hałas z komponentami infradźwiękowymi i niskoczęstotliwościowymi generują także hałas z zakresu wyższych częstotliwości. Niestety w wielu pracach poświęconych skutkom zdrowotnym ekspozycji rzeczywistej autorzy badający wpływ hałasu niskoczęstotliwościowego w warunkach rzeczywistych często ograniczali prezentacje wyników badań akustycznego środowiska pracy do częstotliwości infradźwiękowych i niskich, pomijając zakres powyżej 200 (500) Hz, a wszystkie stwierdzane zmiany zdrowotne przypisywali wyłącznie zakresowi częstotliwości infradźwiękowych i niskich. Najbardziej typowym przykładem, są prace grupy Alves-Perreira i Castelo Branco twórców pojęcia choroby wibroakustycznej [6]. Podobnie zresztą w przypadku ekspozycji na hałas słyszalny nie dokonywano pomiarów poziomów dźwięku w pasmach niskich częstotliwości. W niniejszej pracy niezależnie od zaliczenia wstępnego stanowiska do ekspozycji na infradźwięki i hałas niskoczęstotliwościowy czy hałas słyszalny wykonywano pomiary w paśmie infradźwiękowym niskich częstotliwości i częstotliwości słyszalnych w pasmach tercjowych i oktawowych, a następnie obliczano energię w trzech zakresach

2–31,5 Hz, 63–500 Hz i powyżej 500 Hz. Wyznaczano parametry zdrowia badanych osób ekspozowanych na hałas z energią dominującą w tych trzech pasmach. Jak widać z rycin, co potwierdziła też analiza korelacyjna zaburzenia zdrowia są najniższe w grupie kontrolnej, a największe w grupie ekspozowanej na hałas słyszalny. Analiza korelacyjna wykazała, że badane parametry stanu zdrowia zależą istotnie statystycznie od hałasu słyszalnego. Oczywiście wpływ na to w różnym stopniu i w różnych zakresach miały inne czynniki, między innymi takie jak nawyk palenia, wiek, płeć, czy przebyte choroby. Poziom stresu oksydacyjnego, mierzony za pomocą oceny końcowych produktów peroksydacji lipidów reagujących z kwasem tiobarbiturowym (TBARS) również był najwyższy w grupie ekspozowanej na hałas słyszalny, co jest zbieżne w wynikami badań prowadzonymi na zwierzętach [10, 11]. Analiza korelacji rang Spearmana wykazała zależność poziomu stresu oksydacyjnego od hałasu słyszalnego w paśmie 500–8000 Hz, poziomu A i poziomu C. Wyniki sugerują, że silniejsze szkodliwe działanie na organizm jest związane z pasmem wyższych częstotliwości, słyszalnych.

W pogłębionej analizie statystycznej, gdy do modelu dołączano inne czynniki potencjalnie modyfikujące efekty ekspozycji, zależności istotne statystyczne między parametrami ekspozycji na hałas a efektami zdrowotnymi zniknęły. Może to być spowodowane tym, że przy wielu czynnikach i dużej zmienności międzyosobniczej oraz znacznym różnicowaniu parametrów ekspozycji, badana grupa była jednak zbyt mała, by w analizie wieloczynnikowej zależności utrzymały się. Wpływ na to może mieć także współekspozycja na inne czynniki środowiska pracy takie jak obciążenia pracą fizyczną, wysoka temperatura, praca zmianowa, wibracja itp. działające jako czynniki zakłócające i maskujące końcowy efekt. Ponadto w ocenie obciążenia ekspozycją założono stabilność całościową warunków ekspozycji, co jest zbyt dużym uproszczeniem, ale z braku danych o parametrach ekspozycji w przeszłości, założenie takie było koniecznością, jednak do interpretacji wyników należy podchodzić z dużą ostrożnością. Badania wykonano w modelu kontrolno – referencyjnym, który z założenia wymaga takich uproszczeń.

Biorąc to wszystko pod uwagę do interpretacji wyników należy podchodzić z dużą ostrożnością. Nieliczne prace wykonywane w warunkach ekspozycji zawodowej były dość zbieżne w tym, że hałas z dominacją niskich częstotliwości jest bardziej uciążliwy i nużący niż hałas słyszalny [5, 11–13], aczkolwiek Kwano i wsp. Stwierdził [14], że zjawie-

ska to nie występuje w japońskim systemie pracy/odpoczynku. W niniejszej pracy podobnie jak i w pracy Kjellberga [15], również nie stwierdzono większej uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego w stosunku do słyszalnego. Brak jest badań innych skutków ekspozycji zawodowej poza pracą Doroshenko i Stepczuka [3] pokazującą, że jeśli hałasowi słyszalnemu towarzyszy ekspozycja na hałas niskoczęstotliwościowy to ubytki słuchu i zaburzenia narządu równowagi u pracowników są większe w porównaniu do pracowników ekspozowanych jedynie na hałas słyszalny. Poza pracami grupy Alves-Perreira i Castelo Branco [7] brak jest prac innych zespołów pokazujących zmiany potwierdzające tezę o chorobie wibroakustycznej. Także i wyniki uzyskane w tej pracy wskazują, że w przypadku rzeczywistej ekspozycji na hałas o efektach zdrowotnych decyduje energia pasma słyszalnego.

WNIOSKI

Wyniki badań wskazują, że hałas słyszalny jest bardziej szkodliwy niż hałas niskoczęstotliwościowy we wszystkich badanych parametrach. Mimo długiej ekspozycji zawodowej stwierdzone zmiany w stanie zdrowia grupy ekspozowanej na hałas niskoczęstotliwościowy nie wykazują cech określanych w literaturze jako choroba wibroakustyczna.

Finansowanie: Projekt II.B.09 finansowany przez II etap 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

1. Mohr G.C., Cole J.N., Guild E. i wsp.; Effects of low frequency and Infrasonic noise on man. *Aerospace Med.* 1965; 36(9): 817-824.
2. Broner N.; The effects of low frequency noise on people – a review. *J. Sound and Vibr.* 1978; 58(4): 483-500.
3. Stepanov V. Biological effects of low frequency acoustic oscillations and their hygienic regulation- Final Report State Research Center Moscow 2001: 35-47.
4. Kaczmarska – Kozłowska A., Mikulski, Pleban D, i wsp.: Zagrożenie hałasem niskoczęstotliwościowym kierowców środków transportu drogowego Warszawa CIOP 2010: 19- 33; http://www.zus.pl/files/dpir/20110405_Zagrozenie_halasem_niskoczesztotliwosciowym.pdf
5. Pawlaczyk-Łuszczynska M.: Ocena uciążliwości Hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku pracy oraz jego wpływ

- na funkcje umysłowe- rozprawa habilitacyjna IMP Łódź 2010: 53- 61.
6. Pawlas K.: Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – przegląd piśmiennictwa. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”. 2009; 2 (60): 27–64.
 7. Alves-Pereira M., Castelo Branco N.: Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. Prog. Biophys. Mol. Biol; 2007; 93: 256-279.
 8. Sack D, Linz D, Shukla R. i wsp.: Health status of pesticide applicators; postural stability assessments. J. Occup.Med 1993; 35(12): 1196-1202.
 9. Pawlas K., Pawlas N., Kmieciak- Małecka E. i wsp.: Body sway J Human Kinetics 2008; 20: 69-78.
 10. van Campen L. E., Murphy W.J., Franks J. R. i wsp.: Oxidative DNA damage is associated with intense noise exposure in the rat. Hear Res. 2002;164(1–2):29-38.
 11. Yamashita D, Jiang H.Y., Schacht J. i wsp.: Delayed production of free radicals following noise exposure. Brain Res 2004; 1019: 201-209.
 12. Kaczmarek A., Łuczak A.: Study of annoyance of low frequency noise during mental work. Int. J.Occup. Saf. Ergon. 2007; 13(2): 117-125.
 13. Waye P., Bengtsson J., Kjellberg A. i wsp.: Low frequency noise „pollution” interferes with performance. Noise&Health 2001; 4(13): 33-49.
 14. Kawano A., Yamaguchi H., and Funasaka S.: Effects of infrasound on humans: A questionnaire survey of 145 drivers of long distance transport trucks. Pract. Otol. Kyoto 1991; 84(9):1315-1324; (Japanese) BIOSIS record 1992:99639.
 15. Kjellberg A., Tesarz M.: Evaluation of frequency-weighted sound level measurements for prediction of low frequency noise annoyance. Environment Intern 1997; 23(4): 519-527.

Adres do korespondencji:

*Krystyna Pawlas
Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego
41-200 Sosnowiec, Kościelna 13
tel. +32 634 12 94
e-mail: k.pawlas@imp.sosnowiec.pl;
krystyna.pawlas@umed.wroc.pl*