

UWAGI O BADANIACH INFRADŹWIĘKÓW NA MORSKICH OBIEKTACH PŁYWAJĄCYCH

NOTES ON RESEARCH OF MARINE INFRASOUND IN FLOATING OBJECTS

*Zbigniew MATUSZAK
Akademia Morska w Szczecinie*

Streszczenie:

Scharakteryzowano ogólnie znaczenie działania infradźwięków na organizm ludzki. Wskazano podstawowe źródła infradźwięków. Przedstawiono zestawienie wybranych badań klinicznych wpływu drgań o częstotliwości poniżej 20 Hz na organizm ludzki w ostatnich latach.

Słowa kluczowe: *ultradźwięki, badania, organizm ludzki*

Keywords: *ultrasounds, studies, the human body*

WPROWADZENIE

Infradźwiękami określa się drgania ośrodka gazowego lub ciekłego o częstotliwościach poniżej słyszalnej. Zwykle przyjmuje się umownie jako zakres infradźwięków pasmo częstotliwości 0,1-20 Hz. W ostatnich latach zainteresowanie tego typu drganiami bardzo wzrosło, gdyż w środowisku życia i pracy człowieka stanowią one ważny czynnik zakłócający.

Systematyczne badania źródeł infradźwiękowych rozpoczęto dopiero w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Wynikało to przede wszystkim z braku odpowiednio dokładnej aparatury pomiarowej jak również z niedostatecznej wiedzy o wpływie infradźwięków na organizmy żywe.

Fale infradźwiękowe oddziałują na cały organizm ludzki. Wywołują one drgania rezonansowe klatki piersiowej, przepony brzusznej i organów trawienia. Powoduje to zaburzenia systemu oddychania, a przy dłuższym działaniu prowadzi do chorób układu trawienia. Infradźwięki mogą też powodować zakłócenia organu równowagi i zmniejszenie ostrości widzenia. Istnieje pewna analogia i addytywność działania infradźwięków, objawiająca się zmniejszeniem reakcji nerwowych. Granicę bólu i próg odczuwania wrażeń pochodzących od infradźwięków określa się podobnie, jak dla dźwięków słyszalnych. Im niższa częstotliwość, tym bardziej te dwie granice do siebie się zbliżają,

ŹRÓDŁA INFRADŹWIĘKÓW I ICH WPŁYW NA ORGANIZM LUDZKI

Ogólnie można rozróżnić następujące zakresy oddziaływania infradźwięków na organizm ludzki:

- poniżej 120 dB – krótkie działanie infradźwięków nie wywołuje wrażeń przykrych i nie jest szkodliwe. Przy dłuższym działaniu wystąpić mogą jeszcze mało zbadane ujemne skutki infradźwięków.
- między 120 i 140 dB – przebywanie w polu infradźwiękowym powodować może lekkie zakłócenie procesów fizjologicznych i uczucie nadmiernego zmęczenia.
- między 140 i 160 dB – przy krótkim działaniu (2 min.) infradźwięki powodują nieprzyjemne objawy fizjologiczne (zakłócenie zmysłu równowagi, wymioty) Dłuższe działanie spowodować może trwałe uszkodzenie organiczne.
- powyżej 170 dB – stwierdzono śmiertelne działanie infradźwięków na zwierzęta, spowodowane przeważnie przekrwieniem płuc.

Źródła infradźwięków można podzielić na naturalne i sztuczne. W naturze główną przyczyną powstawania infradźwięków są ruchy powietrza i wody. Falowanie powierzchni mórz i oceanów i prądy podwodne wytwarzają szumy o maksimach leżących w widmie dźwięków słyszalnych, ale wchodzących również w zakres infradźwiękowy. Prócz tego falująca powierzchnia morza jest źródłem fal infradźwiękowych o bardzo niskich częstotliwościach (ok. 0,2 Hz) rozchodzących się w atmosferze.

Ruchy głównych warstw atmosfery powodują odbicia fal powstających na powierzchni morza, a wyładowania atmosferyczne są źródłem fali infradźwiękowej towarzyszącej grzmotowi. Wiatr opływający wysokie budynki także generuje fale infradźwiękowe o natężeniu mogącym przekraczać 100 dB.

W przemyśle źródłem hałasu niskoczęstotliwościowego są sprężarki tłokowe o prędkości obrotowej 200÷1000 obr/min. Poziomy ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości środkowych od 4 do 31.5 Hz wynoszą: 90÷130 dB przy czepniach powietrza, 85÷120 dB na stanowiskach pracy w hałach. Źródłem tego hałasu są instalacje ssące sprężarek, w których występują silne pulsacje ciśnienia dla częstotliwości wymuszeń (zasysań) wzmacniane rezonansem instalacji. Przekroczenia wartości dopuszczalnych występują w wielu przypadkach w hałach sprężarek i w kabinach ich obsługi.

Źródłem hałasu infradźwiękowego są także wysokoprężne silniki spalinowe okrętowe o prędkości obrotowej poniżej 130 obr/min. Poziom ciśnienia akustycznego w zakresie częstotliwości od 4 do 100 Hz wynosi: 96÷106 dB na stanowisku pracy u producenta. W omawianym zakresie częstotliwości leżą częstotliwości podstawowe i ich harmoniczne związane z prędkością obrotową silników. Największe wartości poziomu ciśnienia akustycznego występują w pobliżu wału korbowego, pomp paliwowych i układu turbodoładowania. Należy przypuszczać, że poziomy hałasu infradźwiękowego silników na statkach są jeszcze większe.

Również wentylatory przemysłowe i inne urządzenia stosowane w systemach transportu powietrza i spalin mogą emitować hałas, w widmie którego znaczna część energii zawarta jest w zakresie częstotliwości infradźwiękowych i małych akustycznych. Podczas pracy wentylatora powstaje hałas pochodzenia mechanicznego i aerodynamicznego. Do pierwszego typu należą drgania mechaniczne elementów wentylatora, do drugich – zaburzenia przepływu powietrza lub innego gazu przepływającego przez wentylator. Hałasy pochodzenia aerodynamicznego przewyższają na ogół hałasy powodowane przyczynami mechanicznymi. Jednak w przypadku np. wadliwych łożysk, złego wyważenia wirnika, wadliwego połączenia elementów itp. oraz przy prędkościach rezonansowych, hałasy mechaniczne mogą stać się czynnikiem dominującym. W poprawnie zaprojektowanej i wykonanej sieci kanałów wentylacyjnych dominuje hałas pochodzenia aerodynamicznego. Hałasy pochodzenia aerodynamicznego w wentylatorach można podzielić na dwie grupy: hałasy wywołane turbulencją przepływu i hałasy wynikające z przerywania strumienia przez jedną lub kilka przeszkód (łopatki ruchome wirnika lub łopatki stałe wieńca kierownic) umieszczonych w strumieniu. Poziomy ciśnienia akustycznego notowane na stanowiskach pracy usytuowanych w pobliżu wentylatorów wynoszą: 90÷108 dB. W widmie hałasu wentylatorów dominują często składowe w zakresie częstotliwości od 5 do 63 Hz, stanowiące podharmoniczne i harmoczniczne wynikające z prędkości obrotowej wentylatora $f = n/60$.

Środowiskowe obciążenia organizmu człowieka drganiami jest ogólnie poznane i istnieją wytyczne dotyczące obniżenia wpływu tych drgań na człowieka. Wytyczne te obejmują zakres drgań od pojedynczych Hz do ultradźwięków włącznie. Zakres częstotliwości poniżej 10 Hz jest mniej poznany i opisany w dostępnej literaturze. Na taki zakres częstotliwości narażonych jest ok. 100 tys. Ludzi zatrudnionych na jednostkach pływających na wodach otwartych. Zakres częstotliwości 0-1 Hz odpowiada falowaniu mórz, a tym samym drganiom jednostek pływających we wszystkich osiach. Pierwszym objawem wpływu tych drgań jest choroba lokomocyjna, zwana potocznie chorobą morską. Jest to

zespół chorobowy, związany z brakiem zbieżności bodźców zewnętrznych dochodzących do ośrodkowego układu nerwowego. Próg występowania objawów jest indywidualny, jednak szacuje się, że 95% populacji w określonych warunkach może mieć objawy choroby lokomocyjnej. Kolejnym przejawem wpływu drgań niskoczęstotliwościowych długotrwałych, są objawy psychologiczne. Syndromy zmian psychicznych obserwowano po ok. 30-60 dniach ekspozycji drganiami niskoczęstotliwościowymi.

Istotne znaczenie mają wewnętrzne źródła hałasu pochodzące od elementów układu energetycznego na samym statku (silniki spalinowe napędu głównego i zespołów prądowców, sprężarki, pompy, wentylatory, itp.). Skutki zdrowotne pracy w środowisku morskim zależą także od hałasu, którego natężenie jest podwyższone w miejscach odpoczynku załogi (kajuty, messy) jak i w odniesieniu do pasażerów promów pasażerskich narażonych na ekspozycję drgań i hałasu od urządzeń mechanicznych statku i źródeł naturalnych środowiska. Specyfikę pracy większości załóg statków obejmuje wachtowy, zwykle 4-godzinny system pracy w nocnym i dziennym trybie, podczas gdy większość norm nt. pracy w warunkach uciążliwych, w tym w środowisku drgań i hałasu odnosi się do 8 godzin pracy [1, 2]. Środowisko strukturalne statku jest zależne od konstrukcji kadłuba, liczby ładowni i pokładów, pomieszczeń mieszkalno-bytowych, stanowisk pracy w poszczególnych działach, a przede wszystkim od mocy urządzeń napędowych i innych mechanizmów siłowni.

Środowisko to określa zespół czynników fizykochemicznych, takich jak: hałas, drgania, promieniowanie elektromagnetyczne, mikroklimat oraz oświetlenie pomieszczeń mieszkalno-bytowych i stanowisk pracy [3, 4, 5, 6], na które narażona jest załoga statku jak i podróżujący promem pasażerowie. W dotychczasowych badaniach i analizie drgań oraz hałasu w ogóle pomijano wpływ drgań i hałasu na przewożonych promem pasażerów jak i wrażliwe na te czynniki ładunki w samochodach lub wagonach kolejowych.

Ostatnie badania nt. uciążliwość hałasu oraz wibracji w środowisku pracy marynarzy zatrudnionych na dalekomorskich trawlerach-przetwórnich i jednostkach pływających w żegludze przybrzeżnej i śródlądowej przeprowadzono w latach 2001 i 2004 [7]. W badaniach wykorzystano obserwacje i dane odnoszące się do cech środowiska pracy uzyskane od inspektorów BHP zatrudnionych w firmach żeglugowych. Korzystano też z wyników badań prowadzonych przez akredytowane laboratoria i zawartych w dokumentacji Portowej (obecnie Granicznej) Stacji Sanitarnej-Epidemiologicznej w Szczecinie. Pomiar poziomu hałasu prowadzono za pomocą miernika poziomu dźwięku (typ 2231) firmy Bruel & Kjaer, zgodnie z wymogami [1, 2].

Aktualnie brak jest informacji o przeprowadzonych w ostatnich latach badaniach aplikacyjnych drgań i hałasu na morskich obiektach pływających, a szczególnie obiektach służących do transportu pasażerów oraz pojazdów samochodowych i wagonów (Roll on – Roll off).

Wybrane wyniki badań klinicznych, związane z badaniem wpływu drgań na organizm ludzki w ostatnich latach zestawiono w tabeli 1. Jak widać, tylko nieliczna część badań dotyczyła wpływu na organizm ludzki drgań o częstotliwości poniżej 20 Hz.

Tabela 1

Porównanie wybranych badań klinicznych nad wpływem drgań na organizm ludzki w latach 1994-2007

Table 1

Comparison of selected clinical studies on the effects of vibration on the human body in the years 1994-2007

Lp.	Zespół badawczy i miejsce upublicznienia wyników	Obiekty badane/częstotliwość	Czas obserwacji	Wyniki
	Rubin i McLeod, Clin Orthop Relat Res, 1994	Funkcjonalnie izolowane indyki z wszczepionym implantem tytanowym do kości/1 Hz (20 Hz)	Brak danych	Krótkotrwała ekspozycja na wibracje powodowała zwiększenie biologicznego wiązania beczementowego implantu o 28% przy 1 Hz, o 69% przy 20 Hz w porównaniu do grupy kontrolnej – 8,3%
	Flieger i wsp., Calcif Tissue Int, 1998	Szczury po ovariectomii/ 50 Hz	12 tygodni (5 dni w tygodniu)	Zmniejszenie utraty BMD ($p < 0,05$), nieistotny statystyczny wzrost odporności na złamanie
	Bosco i in., Eur J Appl Physiol, 1999	Bokserzy w trakcie cyklu treningowego/30 Hz	5 min	Wzrost siły mięśni zginaczy przedramienia ($p < 0,001$), wzrost amplitudy EMG ms badanych mięśni ($p < 0,001$)
	Runge i in., J Musculoskel Neuron Interact 2000	Zdrowi ludzie obojga płci z ogłoszenia 61 – 85 lat/ 27 Hz	2 miesiące interwencji + 2 miesiące kontroli	Poprawa czasu pięciokrotnego wstawiania z krzesła o 18% ($p = ?$)
	Bosco i in., Eur J Appl Physiol, 2000	Mężczyźni 25 ± 4-6 r. ż./ 26 Hz	Brak danych	Wzrost stężenia testosteronu ($p = 0,026$) oraz hormonu wzrostu ($p = 0,014$) spadek stężenia kortyzolu ($p = 0,03$) w surowicy wzrost siły mięśni prostowników nóg ($p = 0,003$) oraz zmniejszenie amplitudy EMG ms tamże ($p=0,003$), wzrost amplitudy skoku wzwyż CMJ ($p = 0,001$)
	Rubin i wsp., Nature 2001	Owce/30 Hz	1 rok	Wzrost BMD i parametrów kości beleczkowej i proksymalnego krańca kości udowej o 34,2% ($p < 0,01$)
	Kerschman-Schnidl i in., Clin Physiol, 2001	Zdrowi ochotnicy (8 kobiet) 25-35 r.ż./26 Hz	9 min	Widoczne zaczerwienienie skóry nóg. Wzrost liczby naczyń o śr. > 2 mm w m. quadriceps ($p = 0,02$) i gastrocnemius ($p = 0,001$). Wzrost średniej prędkości przepływu krwi ($p < 0,001$) oraz spadek oporu naczyniowego ($p < 0,0002$) w tętnicy podkolanowej
	Nishihira i in., Adv Exerc Sports Physiol, 2002	Zdrowe osoby 19-28 r. ż./ 25 Hz	Brak danych	Wzrost pobudzenia motoneuronów a poprzez wzrost wskaźnika H/M stymulowanego m. soleus ($p < 0,05$)
	Torvinen i in., Clin Physiol & Func Im, 2002	Zdrowi, młodzi ludzie (8 kobiet) 24-33 r.ż./ 15/20/25/30 Hz	60 min	Wzrost wysokości skoku wzwyż ($p = 0,019$), wzrost siły izometrycznego wyprustu kończyn dolnych ($p = 0,02$), poprawa balansu ciała ($p = 0,049$)
	Rittweger i in., Spine, 2002	Pacjenci z przewlekłym bólem krzyża 51,7 ± 5,8 r.ż./18 Hz	6 miesięcy w tym 3 miesiące ćwiczeń	Brak istotnej różnicy w ustępowaniu bólu i siły lędźwiowego wzrostu pomiędzy grupami
	Delecluse i in., Med Sci Sports Exerc, 2003	Niewytrenowane kobiety 21,4 ± 1,8 r.ż./ 35-40 Hz	12 tygodni	Wzrost izometrycznej i dynamicznej siły wyprustu w stawie kolanowym ($p < 0,001$), wzrost siły eksplozywnej – CMJ ($p < 0,001$)
	Oxlund i wsp., Bone 2003	Szczury po ovariectomii/ 17/30/45 Hz	90 dni	Pobudzenie tworzenia i hamowanie resorpcji kości, wzrost wytrzymałości biomechanicznej kości
	Miyamoto i in., JSBMR, 2003	Uczestnicy obojga płci (?) śr. 72,6 r. ż./20-30 Hz	6 miesięcy	Istotna poprawa równowagi statycznej i dynamicznej brak istotnego wzrostu BMD w kości piętowej (QUS)
	Bruyere i in., American College of Rheumatology meeting, Orlando 2003,	Rezydenci domu opieki/ 10 Hz, 26 Hz	6 miesięcy	Poprawa 7 z 9 podgrup kwestionariusza jakości życia SF – 36 ($p = 0,001$), poprawa jakości chodu w teście Tinetti ($p = 0,0003$), poprawa równowagi ($p = 0,001$)
	Torvinen i in., J Bone Miner Res, 2003	Mężczyźni (21), kobiety (35); 19-38 r.ż./ 25-45 Hz	8 miesięcy (3-5 razy w tygodniu)	Brak istotnego wpływu na masę strukturę i wytrzymałość kości mierzone metodą DEXA (kręgosłup lędźwiowy, szyjka kości udowej, krętarz, kość piętowa) i pQCT (kość piszczelowa); brak istotnych zmian w poziomach markerów obrotu kostnego w surowicy krwi, wzrost wysokości skoku wzwyż ($p = 0,003$)
	Rittweger i in., Clin Physiol & Func Im., 2003	Zdrowi studenci (10 kobiet, 9 mężczyzn)/26 Hz	Brak danych	Wzrost amplitudy odruchu kolanowego ($p < 0,01$), wzrost częstotliwości EMG m. vastus lateralis ($p, 0,001$)
	Tylee i in., Engineering in Medicine and Biology Society, 2003	Pacjenci z urazem rdzenia kręgowego (SCI)/ 30 Hz	Brak danych	Brak istotnej różnicy w odpowiedzi na terapię wibracyjną między pacjentami z SCI a zdrowymi osobami. Aplikacja drgań platformy uchyłnej na boki powodowała istotne różnice przyspieszeń w spastycznych kończynach dolnych w porównaniu z platformą wibrującą w osi pionowej
	Verschueren i in., J Bone Miner Res, 2004	Kobiety po menopauzie, 50-74 r. ż./35-40 Hz	6 miesięcy treningu wibracyjnego	Wzrost izometrycznej i dynamicznej siły mięśniowej ($p < 0,01$), wzrost BMD kości biodrowej (+0,93%, $p < 0,05$), brak wzrostu osteokalcyny i CTx
	Roelants i in., Int J Sports Med, 2004	Niewytrenowane kobiety 21 ± 3 r. ż./35-40 Hz	24 tygodnie	Brak istotnych zmian wagi, procentowej zawartości tłuszczu i grubości fałdów skóry; wzrost masy beztłuszczowej +2,2% ($p < 0,05$), wzrost siły izometrycznej i izokinetycznej prostowników kolana ($p < 0,05$)

Cd tabeli 1
Table 1 cont.

Lp.	Zespół badawczy i miejsce upublicznia wyników	Obiekty badane/ częstotliwość	Czas obserwacji	Wyniki
	Rubin i in., J Bone Miner Res, 2004	Kobiety po menopauzie/ 30 Hz	1 rok	Zmniejszenie ubytku tkanki kostnej ($p = 0,09$) w kręgosłupie i w szyjce kości udowej ($p = 0,06$)
	Ward i in., J Bone Miner Res 2004	Niepełnosprawne dzieci (4-19 r. ż.)/90 Hz	6 miesięcy	Wzrost gęstości kości beleczkowej w proksymalnym końcu piszczeli o 6,3% w grupie eksponowanej ($p = 0,003$), spadek o 11,9% w grupie kontrolnej
	Humphries i in., Journal of Sports Science and Medicine, 2004	Uczestnicy obojga płci $22 \pm 4,4$ r.ż./ $50,52 \pm 1,16$ Hz	Brak danych	Brak istotnej różnicy dla szczytowych wartości izometrycznego skurczu mięśnia czworogłowego uda oraz dla wartości EMG RMS w czasie izometrycznego prostowania nogi
	Iwamoto i in., Keio J Med, 2004	Kobiety 61-86 r. ż./20 Hz	3 miesiące	Wzrost długości kroku o 4,5% wzrost siły prostowników kolana o 6,8% wzrost czasu stania na jednej nodze o 72,5%
	Hannan i in., Osteoporos Int, 2004	Kobiety $85,7 \pm 1,1$ r.ż./30 Hz	6 miesięcy	Oceniono podatność (compliance) starszych kobiet na 6-miesięczną terapię WBV na 83%
	Di Loreto i in., Journal of Endocrinological Investigation, 2004	Zdrowi mężczyźni 39 ± 3 r.ż./30 Hz	30 minut	Nieznacząca redukcja glukozy w surowicy ($p = 0,049$) wzrost stężenia norepinefryny ($p = 0,038$), brak istotnych zmian insuliny, glukagonu, kortyzolu, epinefryny, GH, igf-1, wolnego oraz całkowitego testosteronu
	Schuhfried i in., Clinical Rehabilitation, 2005	Pacjenci ze stwardnieniem rozsianym (SM) randomizowani do obu grup/2,0-4,4 Hz	2 tygodnie	Istotna ($p = 0,041$) poprawa w Sensory Organisation Test i Time Get Up and Go Test do tygodnia od ekspozycji dowodzi pozytywnego wpływu na kontrolę postawy i ruchliwość pacjentów
	Turbansky i in., Res Sports Med, 2005	Pacjenci z chorobą Parkinsona (PD)/6 Hz	Brak danych	Przypadkowa wibracja całego ciała (random whole – body vibration) poprawia stabilność posturalną w PD
	Bautmans i in., BMC Geriatrics 2005	Rezydenci domu opieki, kobiety i mężczyźni $77,5 \pm 11$ r.ż./30-50 Hz	6 tygodni	Poprawa w Timie Up and Go Test ($p = 0,029$) i Tinetti Test ($p = 0,001$)
	Fontana i in., Australian Journal of Physiotherapy, 2005	Zdrowi studenci (17 kobiet), 19-21 r.ż./18 Hz	Brak danych	Poprawa propriocepcji kręgosłupa L-S ($p = 0,01$)
	Maikala i in., Eur J Appl Physiol, 2005	Zdrowi mężczyźni/ 3; 4,5; 6 Hz	Brak danych	Przy 4,5 Hz największy wzrost oksygenacji i objętości krwi w prawej okolicy czołowej mózgu
	Christiansen i Silva, Annals of Biomedical Engineering, 2006	Myszy/ brak danych	5 tygodni	Przyspieszenie wzrostu kości beleczkowej ($p < 0,05$), ale tylko w grupach poddanych wibracjom o przyspieszeniu 0,1 i 1 g (nie przy 0,3 kg)
	Glisanz i in., Journal of Bone and Mineral Research, 2006	Białe kobiety 15–20 r.ż. (co najmniej 1 złamanie w wywiadzie)/30 Hz	1 rok	Wzrost gęstości kości gąbczastej kręgu o 2% ($p = 0,06$) i warstwy korowej kości udowej o 2,3% ($p = 0,04$) wzrost pola przekroju mięśni przykręgosłupowych o 4,9% ($p = 0,002$)
	Ahlborg i in., Journal of rehabilitation medicine, 2006	Osoby dorosłe ze spastyczną diplegią (cerebral palsy), 21-41 lat/ brak danych	8 tygodni	Zmniejszenie spastyczności mierzone zmodyfikowaną skalą Ashwolda w kk dolnych zdolności do chodzenia i równowaga nie wzrosły znacząco, wzrost Gross Motor Function Measure ($p < ?$)
	Van den Tillar; J Strenght Cond Res, 2006	Studentki (-ci) wychowania fizycznego $21,2 \pm 2$ r.ż./28 Hz	4 tygodnie	Istotny statystycznie wzrost elastyczności mięśni kulszowo – goleniowych o 16%
	Gusi i in., BMC musculoskeletal disorders, 2006	Niewytrenowane kobiety po menopauzie/12,6 Hz	8 miesięcy	Wzrost BMD szyjki kości udowej o 4,3% ($p = 0,011$), brak zmian BMD kręgow łędźwiowych, poprawa równowagi o 29% ($p = 0,023$) badania testem flaminga z zamkniętymi oczami
	Cornie i in., J Strenght Cond Res, 2006	Mężczyźni 19-23 r.ż./30 Hz	Brak danych	Wzrost wysokości skoku wwyż – CMJ ($p < 0,05$) w porównaniu z placebo do 5 min. po ekspozycji
	Fagnani i in., American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 2006	Kobiety trenujące lekką atletykę 21-27 lat/ brak danych	8 tygodni	Wzrost siły prostowania kolan ($p < 0,001$), skoku wwyż – CMJ ($p < 0,001$), oraz gibkości – sit and reach test ($p < 0,001$)
	Paradis i Zacharogiannis, Journal of Sports Science and Medicine, 2007	Ochotnicy sportowcy: 12 kobiet, 12 mężczyzn $21,3 \pm 1,2$ r.ż./30 Hz	6 miesięcy	Wzrost ($p < 0,05$) długości kroku (5,1%), prędkości biegu (3,6%), spadek ilości kroków (3,45), wzrost ($p < 0,05$) siły eksplozywnej, CMJ (3,3%), wzrost ($p < 0,05$) liczby skoków CMJ w ciągu 30 s (7,8%)
	Semler i in., J Musculoskelet Neuronal Interact, 2007	Dzieci z osteogenesis imperfecta – 4 cerebral palsy – 1, meningomyelocele – 1/15-22 Hz	6 miesięcy	Wzrost siły mięśniowej kończyn dolnych, redukcja spastyczności, poprawa wzorca motorycznego chodu u wszystkich obiektów

UWAGI KOŃCOWE

Badanie ekspozycji drganiami niskoczęstotliwościowymi jest utrudnione z powodu dostępności układów sensorycznych. Piezoceramiczne czujniki przyspieszeń drgań obejmują zakres od 0,5 Hz a ich gabaryty uniemożliwiają konstrukcję przenośnego urządzenia umożliwiającego pomiar na ciele człowieka. Rozwój technologii MEMS umożliwił konstrukcję czujników przyspieszenia z zakresem pomiarowym od składowej stałej. Dostępność tych czujników umożliwia budowę prototypowego urządzenia mierzącego drgania niskoczęstotliwościowe, dozymetru wibracyjnego. W założeniach badawczych dozymetr wibracyjny miałby możliwość pomiaru w czasie całej doby drgań niskoczęstotliwościowych w kierunku trzech osi w wybranym punkcie ciała człowieka.

Możliwość pomiaru długoczasowego drgań niskoczęstotliwościowych otwiera możliwość zbadania wpływu tych drgań na człowieka i na niektóre urządzenia elektroniczne wspomagające jego życie i komfort życia (np. rozruszniki serca, aparaty słuchowe). Uzyskana wiedza umożliwi przyjęcie optymalnego czasu przebywania ludzi w tak obciążonym środowisku oraz odpowiednią kalibrację (regulację) urządzeń elektronicznych wspomagających życie. Ponadto w przyszłości może umożliwić stworzenie odpowiednich wytycznych, podobnych do istniejących dla wyższych częstotliwości, określających dopuszczalne czasy i parametry ekspozycji człowieka na drgania niskoczęstotliwościowe.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dn. 29.11.2002 w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. 02.217.1833 z późn. zmianami).
- [2] Polska Norma PN-84/S-001307: *Hałas. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów.*
- [3] Otto B., Matuszewski J.: Zachorowalność wśród marynarzy na wybranych liniach Polskich Linii Oceanicznych. *Biuletyn Met.-Org. Instytutu Medycyny Morskiej.* Nr 26, 1993, s. 35-45.
- [4] Piotrowski M., Mroziński W.: Zachorowania i zgony marynarzy i rybaków dalekomorskich. *Biuletyn Met.-Org. Instytutu Medycyny Morskiej.* Nr 27, 1994, s. 33-37.
- [5] Tomaszunas S., Renke W., Filikowski J.: Warunki pracy i bytu oraz zachorowania i wypadki wśród polskich marynarzy zatrudnionych na obcych statkach. *Symposium „Medycyny Morskiej”.* Gdynia 11-12 września 1997, s. 6-7.
- [6] Mikulski T., Zeńczak M., Dobrzycka M.: Natężenie pól elektromagnetycznych na statkach towarowych. *IV Symposium „Zagrożenia zdrowia w środowisku pracy”.* Łódź 7-9 listopada 1996, s. 46.
- [7] Kułaga A., Mikulski T., Walczak A., Olszowski T.: Ocena poziomu hałasu i wibracji ogólnej w środowisku pracy marynarzy zatrudnionych na dalekomorskich trawlerach-przetwórnich i jednostkach pływających w żegludzie przybrzeżnej. *Ann. Acad. Med. Siles.* Nr 60, 2006, Supl. 95, s.103-109.
- [8] Norma PN-ISO 1996-1/2/3: *Akustyka. Opis i pomiary hałasu w środowisku. Podstawowe wielkości i procedury.*
- [9] Norma PN-W-01350-4, 1996: *Ochrona przed hałasem na statkach morskich.*
- [10] Rezolucja IMO Res. A.468 (XII).

dr hab. inż. Zbigniew Matuszak, prof AM
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
e-mail: z.matuszak@am.szczecin.pl