

Badania wpływu nadmiernej ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy

- choroba wibroakustyczna

prof. zw. dr hab. inż. ZBIGNIEW ENGEL
dr inż. ANNA KACZMARSKA
doc. dr inż. DANUTA AUGUSTYŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Wprowadzenie

Wibroakustyka jako odrębna dziedzina wiedzy istnieje blisko czterdzieści lat. Podstawowe zadania wibroakustyki zostały sformułowane przy tworzeniu tej dyscypliny naukowej [1] i dotyczyły głównie zagadnień technicznych. Zwracając uwagę na użyteczny cel wibroakustyki, stwierdzono wówczas, że:

celem wibroakustyki jest ograniczenie zagrożeń wibroakustycznych występujących w środowisku do minimum możliwego na danym etapie wiedzy i technologii, a także wykorzystanie informacji zawartych w sygnale wibroakustycznym do celów diagnostycznych, w tym również diagnostyki medycznej [2].

Wskazywano też na konieczność szukania dalszych zastosowań metod wibroakustycznych w różnych dziedzinach nauki i techniki, a przede wszystkim zastosowania tych metod w medycynie i biologii (systemy antropologiczne). Metody wibroakustyczne znalazły obecnie szerokie zastosowanie w medycynie, a sformułowane przed laty zadania wibroakustyki ulegają ciągłej ewolucji. W medycynie, obok zastosowania sygnałów wibroakustycznych do celów diagnostyki, spotyka się takie nowe zastosowania, jak *wibroakustyczna terapia*. Istnieje również pojęcie *choroba wibroakustyczna*. Mimo że badania związane z tymi problemami trwają od dawna, dopiero w ostatnich latach przy omawianiu tych zagadnień pojawił się przymiotnik *wibroakustyczna*. Określenie to przez wiele osób nie jest akceptowane.

W artykule omówiono takie pojęcia, jak wibroakustyczna terapia i choroba wibroakustyczna, która może być następstwem długotrwałej, znaczącej ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy i infradźwięki. Przedstawiono kierunki badań prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w zakresie uciążliwości dźwięków o niskich częstotliwościach.

Effects of exposure to low-frequency noise – the vibroacoustic disease

This article discusses terms such as vibroacoustic therapy and vibroacoustic disease. The vibroacoustic disease is induced by long-term exposure to low-frequency noise and infrasound. The results of tests on the annoyance of low-frequency sounds carried out at the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute are also presented.

Wibroakustyczna terapia

Wibroakustyczna terapia łączy właściwości drgań, a mianowicie relaksującą muzykę z dźwiękami tonalnymi o niskich częstotliwościach. Zagadnieniami tymi jako pierwszy zajął się norweski nauczyciel Olav Skille [3, 4], który w roku 1980 badał wpływ zastosowania wibroakustycznej stymulacji na organizmy kilku niepełnosprawnych dzieci. Stwierdził on wówczas, że drgania pochodzące od muzyki, łącznie z dźwiękami o niskich częstotliwościach, mogą relaksować i pobudzać do działania. Badaniami związanymi z wibroakustyczną terapią zajmowali się w tamtych latach Fin Petri Lehtikoinen oraz Anglijczyk – A.L. Wigram i L. Weekes.

Wibroakustyczna terapia jest więc nową technologią, która stosuje słyszalne dźwięki do redukcji symptomów i powoduje zmniejszenie napięcia oraz poziomu stresu. Zastosowanie wibroakustycznej terapii poprzedzone zostało dokładnym rozeznaniem wpływu drgań na różne funkcje organizmu ludzkiego i określeniem zależności pomiędzy ciałem człowieka a oddziałującymi dźwiękami. O. Skille, na podstawie licznych badań stwierdził, że terapia wibroakustyczna była korzystna w przypadkach chorobowych, jak astma czy choroba Parkinsona. Opisał on uzyskane wyniki terapii wibroakustycznej, które podzielił na trzy obszary:

- kurczowe i mięśniowe efekty relaksacyjne
- wzrost krążenia krwi w organizmie
- określony, ale zmienny wpływ na układ wegetatywny.

W terapii wibroakustycznej są stosowane specjalne przetworniki drgań, które przenoszą drgania o częstotliwościach akustycznych bezpośrednio do organizmu człowieka. W terapii tej są stosowane specjalne łóżka i fotele. Stymulacja wibroakustyczna na ogół obejmuje drgania o częstotliwościach od 60 do 600 Hz.

Terapia wibroakustyczna rozwija się w wielu krajach świata – prowadzone są wielokierunkowe badania, stosowane różne metody, organizuje się specjalne sesje i konferencje naukowe.

Choroba wibroakustyczna

Główna część tego artykułu dotyczy choroby wibroakustycznej (*Vibroacoustic Disease – VAD, Vibroacoustic Illness*), która jest chronicznym, progresywnym, narastającym stanem chorobowym. Niektórzy autorzy definiują chorobę wibroakustyczną jako ogólnoustrojową patologię, charakteryzującą się nieprawidłową proliferacją o specjalnych komórkowych formach, która jest spowodowana przez nadmierną ekspozycję na niskoczęstotliwościowe hałasy, włączając infradźwięki. Choroba wibroakustyczna została zaobserwowana przy długotrwałej ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy takich pracowników, jak: mechanicy silnikowi, wojskowi i cywilni piloci oraz personel samolotów, maszyniści okrętowi, kierowcy pojazdów drogowych, pracownicy restauracji.

Pojęcie choroby wibroakustycznej, mimo iż badania nad zagadnieniem wpływu hałasów niskoczęstotliwościowych trwały od wielu lat, wprowadzone zostało przed

kilkoma laty w pracach niektórych uczonych [5, 6], głównie portugalskich i angielskich, przede wszystkim przez N.A Castelo Branco [7, 8, 9, 10, 11]. Obecnie, podczas międzynarodowych kongresów akustycznych są organizowane specjalne sesje poświęcone temu zagadnieniu.

Prowadzone badania wykazały, że środowisko, w którym występują intensywne infradźwięki o poziomie wyższym od 110 dB, połączone z niskoczęstotliwymi dźwiękami o poziomie niższym od 100 dB, prowadzą do ryzyka powstania choroby wibroakustycznej. Ciało ludzkie podlega wówczas silnym wibracjom.

Badacze zajmujący się chorobą wibroakustyczną podają trzy etapy tej choroby, w zależności od liczby lat ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy i infradźwięki:

– etap 1. – łagodny (od roku do 4 lat): niewielkie wahania nastrojów, niestrawność, zgaga, infekcje gardła i jamy ustnej

– etap 2. – umiarkowany (4 do 10 lat): bóle w klatce piersiowej, wahania nastrojów, zmęczenie, alergia, zapalenie śluzówki żołądka, krwawienie z dróg moczowych

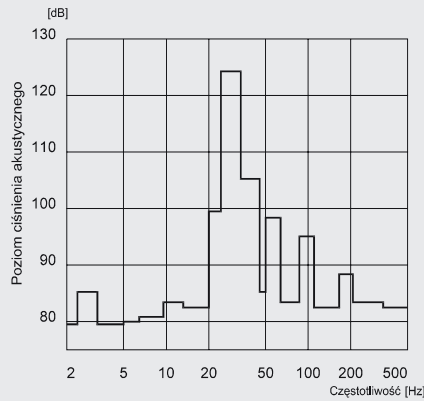
– etap 3. – ciężki (dotkliwy, okres dłuższy od 10 lat): zaburzenia psychiatryczne, krwotoki, hemoroidy, wrzody dwunastnicy, spastyczne zapalenie okrężnicy, bóle głowy, intensywne bóle mięśni, zmniejszenie ostrości widzenia, zaburzenia neurologiczne.

Badania wpływu hałasów niskoczęstotliwościowych oraz infradźwięków na organizm człowieka prowadzone są od wielu lat również w naszym kraju. Wymienić tu należy niektóre ośrodki naukowe, jak Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera w Łodzi, Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie oraz Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB).

W dalszej części tego artykułu zostaną omówione badania wpływu hałasów niskoczęstotliwościowych prowadzone w CIOP-PIB.

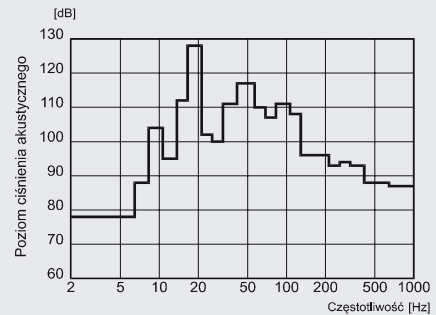
Badania hałasu niskoczęstotliwościowego

Prowadzone w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym od wielu lat badania, w pierwszym okresie dotyczyły identyfikacji źródeł hałasu niskoczęstotliwościowego, w tym infradźwięków występujących w przemyśle [12]. Kolejne badania dotyczyły opracowania kryteriów oceny tego hałasu [13] i metod jego ograniczenia [14], a w ostatnich latach w CIOP-PIB prowadzone są badania dotyczące uciążliwości hałasów niskoczęstotliwościowych w pomieszczeniach biurowych [15].



Rys. 1. Widmo hałasu infradźwiękowego (analiza tercjowa) sprężarki VMD-1000 zmierzone w odległości 1 m od czerpni (wg badań CIOP) [12]

Fig. 1. A noise spectrum measured at a distance of 1 m from the air take of a VDM-1000 compressor [12]



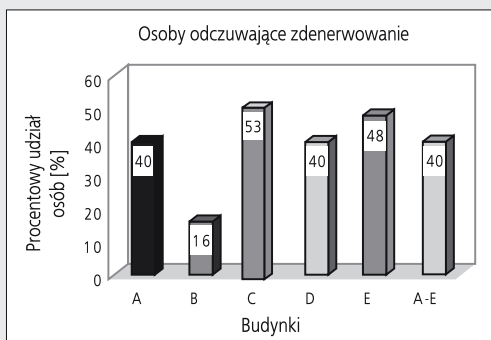
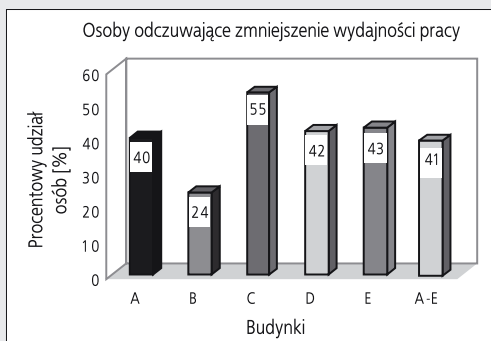
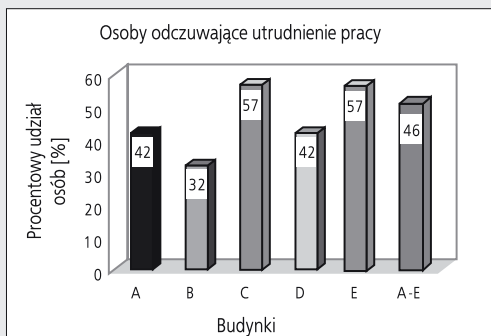
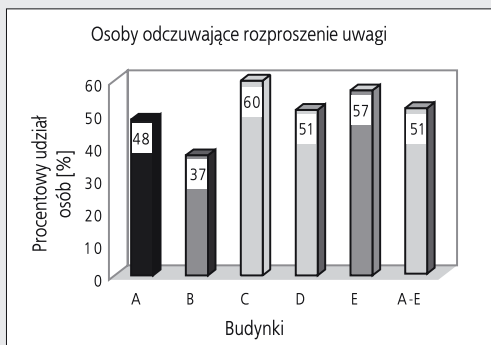
Rys. 2. Widmo hałasu infradźwiękowego (analiza tercjowa) zmierzone na poziomie 92 m kotła nr 1 w elektrowni (wg badań CIOP) [14]

Fig. 2. A noise spectrum measured at the level of 92 m at boiler No. 1 in a thermal power station [14]



Rys. 3. Hałas infradźwiękowy emitowany przez wybrane maszyny i urządzenia przemysłowe oraz środki transportu zakresy mierzonych średnich wartości poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G (wg badań IMP i CIOP) [13]

Fig. 3. Infrasonic noise emitted by some machines and vehicles – G-weighted sound pressure levels (averaged values) [13]



Rys. 4. Wyniki ankiety dotyczącej środowiska pracy w pomieszczeniach biurowych – odczuwanie uciążliwości spowodowanych hałasem
A, B, C – nowoczesne budynki biurowe, D, E – budynki biurowe z lat 50. ubiegłego wieku, liczba osób uczestniczących w ankiecie – 239 (wg badań CIOP-PIB) [15]

Fig. 4. Results of a survey on the work environment in office facilities – annoyance caused by noise
A, B, C – modern office building, D, E – office buildings from the 1950s, the number of surveyed people: 239 [15]

Źródłami hałasów niskoczęstotliwościowych występujących w przemyśle są m.in. sprężarki tłokowe, wysokoprężne silniki, piece hutnicze, konwertory tlenowe, wentylatory przemysłowe, turbodmuchawy, ssawy, maszyny formierskie, młyny młotowe, pompy. Na rys. 1. (str. 5.) przedstawiono widmo hałasu niskoczęstotliwościowego emitowanego przez sprężarki tłokowe o prędkości obrotowej w granicach 200÷1000 obr./min.

W elektrowniach ciepłych źródłami hałasów niskoczęstotliwościowych są maszynownie, kotły, kominy. Dla przykładu można podać, że mogą wystąpić rezonanse drgań własnych słupa powietrza w części konwekcyjnej kotłów z drganiami generowanymi przez wiry Karmana za rurkami wymienników ciepła. Takie drgania rezonansowe zaobserwowano w czasie badań hałasu prowadzonych w jednej z elektrowni.

Widmo hałasu niskoczęstotliwościowego zmierzone w pobliżu kotła przedstawiono na rys. 2. (str. 5.).

Na rys. 3. (str. 5.) podano zbiorcze zestawienie wyników pomiarów hałasu w następujących działach gospodarki: transport, hutnictwo, odlewnictwo, energetyka, przemysł chemiczny, petrochemiczny, farmaceutyczny i spożywczy [13].

Ostatnio prowadzone przez CIOP-PIB pilotażowe badania hałasu w budynkach biurowych wykazały częste skargi pracowników na uciążliwy, drażniący, przeszkadzający w pracy, męczący lub powodujący nadmierną senność hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy, pomimo że nie stwierdzono występowania przekroczeń obowiązujących wartości NDN.

Wyniki ankiety przeprowadzonej wśród 239 osób w 5 badanych budynkach biurowych (rys. 4.), dotyczące uciążliwości hałasu w pomieszczeniach biurowych, wskazują, że największy procent osób badanych skarży się na takie uciążliwości spowodowane hałasem, jak:

- rozproszenie uwagi (liczba skarg od 37 do 60% w poszczególnych budynkach)
- utrudnienie pracy (liczba skarg od 32 do 57%).

Jak wykazują badania i obserwacje własne, ok. 50% zgłaszanych skarg na hałas występujący w pomieszczeniach biurowych dotyczy hałasów niskoczęstotliwościowych pochodzących od urządzeń zainstalowanych w budynku lub poza nim.

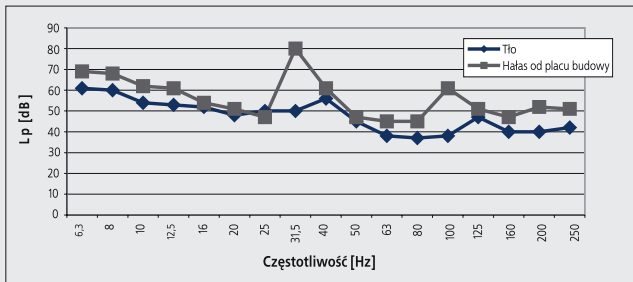
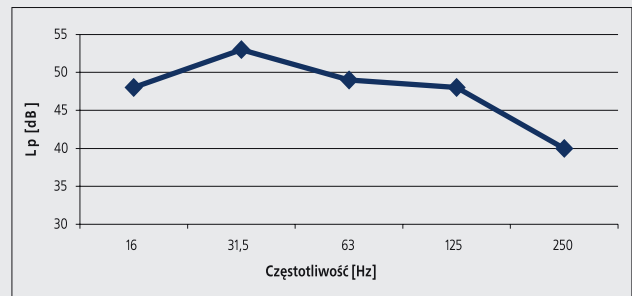
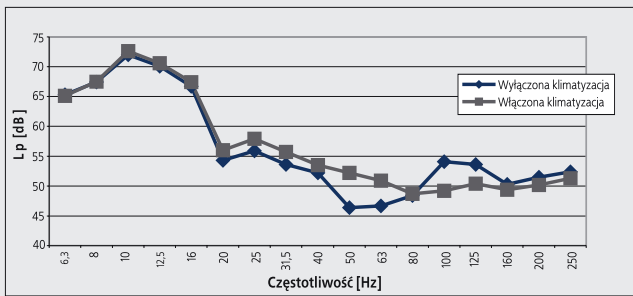
Hałas niskoczęstotliwościowy powodujący skargi najczęściej pochodzi od systemu klimatyzacyjnego i wentylacji (praca wentylatorów, hałas duktów wentylacyjnych, praca pomp wody lodowej itp.), urządzeń związanych z siecią informatyczną (tzw. szafy krosownicze, serwery), transformatorów zlokalizowanych w budynku, dźwigów (wind) oraz hałasu zewnętrznego, głównie pochodzącego od zlokalizowanych w pobliżu placów budowy lub ruchu ulicznego, szczególnie w przypadku ciężkiego ruchu drogowego.

Uciążliwości w pracy spowodowane dźwiękami o niskich częstotliwościach szczególnie mocno odczuwają i zgłaszają pracownicy wykonujący prace koncepcyjne, precyzyjne, wymagające koncentracji uwagi, np. dyspozytorzy sieci rozległej (np. sieć przesyłu sygnału i informacji w bankach, u operatorów telefonii komórkowej), kontrolerzy ruchu lotniczego, pracownicy umysłowi realizujący odpowiedzialne i skomplikowane procesy analityczne, np. doradcy finansowi i prawni w bankach. Na rysunku 5. przedstawiono przykładowe widma hałasu na wybranych stanowiskach pracy, na których zgłaszano odczuwaną uciążliwość hałasu niskoczęstotliwościowego.

Na rysunku 5A przedstawiono widmo hałasu pochodzące od urządzeń klimatyzacji. Po wyłączeniu klimatyzacji, w odniesieniu do częstotliwości 50 Hz wyraźnie widać zmianę (obniżenie) o ok. 5 dB poziomu ciśnienia akustycznego. Jest to składowa widma, która często jest wskazywana przez osoby narażone na hałas niskoczęstotliwościowy jako szczególnie uciążliwa.

Na rysunkach 5B (widmo hałasu zewnętrznego pochodzące od urządzeń pracujących na placu budowy) oraz 4C (widmo hałasu pochodzące od urządzenia sieci informatycznej) wyraźnie widać znaczące składowe niskoczęstotliwościowe w odniesieniu do częstotliwości 31,5 Hz, które były powodem skarg pracowników przebywających w badanych pomieszczeniach.

Na podstawie identyfikacji źródeł hałasu niskoczęstotliwościowego oraz pilotażowych badań w pomieszczeniach biurowych prowadzone są dalsze badania dotyczące uciążliwości tego hałasu dla pracowników znajdujących się w tych pomieszczeniach, szczególnie podczas wykonywania prac koncepcyjnych i wymagających silnej koncentracji uwagi.



Rys. 5. Widma hałasu niskoczęstotliwościowego w pomieszczeniach biurowych (wg badań CIOP-PIB) [15]

A – poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych na stanowisku pracy z włączoną i wyłączoną klimatyzacją
 B – poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych na stanowisku pracy do prac koncepcyjnych – hałas dochodzący z sąsiedniego placu budowy
 C – poziom ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych na stanowisku pracy w pomieszczeniu do prac koncepcyjnych – hałas pochodzący od szafy krosowniczej umieszczonej w pokoju do prac koncepcyjnych

Fig. 5. Spectra of low-frequency noise at work stations [15]

A – Sound pressure levels in one-third octave bands at work stations with air conditioning switched on and off
 B – The level of acoustic pressure in one-third octave bands at work stations for conceptual work – noise coming from a nearby construction site
 C – The level of acoustic pressure in octave bands at work stations in rooms for conceptual work – noise generated by a crossover cabinet located in a room for conceptual work

Badania te prowadzone są dwutorowo: badania uciążliwości w środowisku pracy oraz badania uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego w warunkach laboratoryjnych.

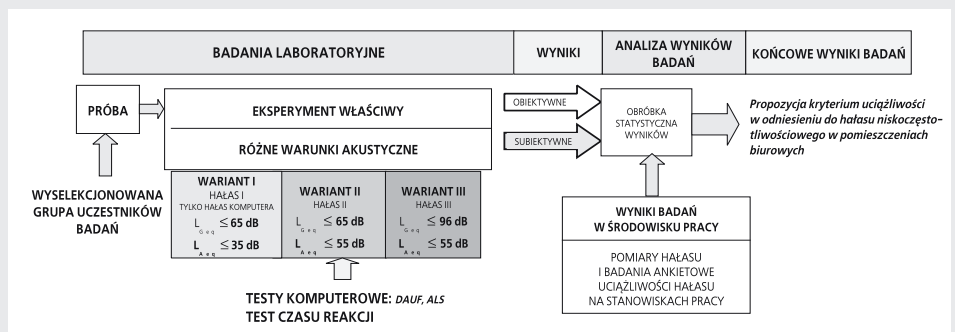
Na rys. 6. przedstawiono schemat badań.

Podsumowanie

Prowadzone od wielu lat badania wykazują uciążliwość i szkodliwość hałasu niskoczęstotliwościowego dla osób narażonych na jego działanie. Hałas ten wpływa ujemnie na samopoczucie, powoduje zakłócenia w pracy i prowadzi do zaburzeń stanu zdrowia, zwanych w literaturze chorobą wibroakustyczną. Wyniki badań prowadzonych przez ośrodki zagraniczne i krajowe uzasadniają potrzebę prowadzenia dalszych szerokich badań w tym zakresie. Badania takie są obecnie prowadzone w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym.

PIŚMIENNICTWO

[1] Engel Z. *Procesy wibroakustyczne w maszynach*. Materiały VII Sympozjum Drgania w układach fizycznych. Poznań – Błażejewko 1976
 [2] Engel Z. Cempel C. *Vibroacoustic and its Place in Science*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Techn.Sc.Vol.49, No. 2, 2001, 185-198
 [3] Skille O. *Variations in Blood Pressure and Pulse during Vibroacoustic Treatment*. Pilot Study. Report Trilax Centre, Steinkjer 1987
 [4] Skille O. *Behandling av funksjonale brukerseminar omkring Vibroacoustic behandlind*. VibroSoft 1989



Rys. 6. Ogólny schemat ideowy badań uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego (wg badań CIOP-PIB) [16]

Fig. 6. A general diagram of low-frequency noise annoyance effect tests [16]

[5] Takahashi Y., Yonekawa Y., Kanada K. *A New Approach to Assess Low Frequency Noise in the Working Environment*. Industrial Health 39, 281-286, 2001
 [6] Torres R., Tirado G. i inni. *Vibroacoustic disease induced by long-term exposure to sonic booms*. Proc. Internoise 2001, 1095-1098
 [7] Castelo Branco N.A.A. *Vibroacoustic Disease – 25 years of Continuous Research*. Proc. XII Inter. Congress on Sound and Vibration, Lisbon, 1-7, 2005
 [8] Castelo Branco N.A. *A unique case of vibroacoustic disease. A tribute to an extraordinary patient*. Aviat. Space Environ. Med. Vol. 70(3 suppl.) 1999, 27-31
 [9] Castelo Branco N.A. Alves-Pereira M. *Vibroacoustic disease*. Noise Health, 6, 23, 2004, 3-20
 [10] Castelo Branco N.A. *Vibroacoustic Disease – 25 years of continuous Research Proc. Twelfth International Congress on Sound and Vibration*. Lisbon 2005
 [11] Castelo Branco N.A. *The clinical stages of vibroacoustic disease*. Aviat. Space Environ. Med. Vol. 70 (3 suppl.) 1999, 32-39
 [12] Augustyńska D., Konarska M., Szelenberger W. i inni. *Hałas infradźwiękowy w środowisku pracy*. Materiały do Studiów i Badań CIOP nr 62, 1982
 [13] Pawlaczyk-Łuszczynska M., Augustyńska D., Kaczmarska-Kozłowska A. i inni. *Hałas infradźwiękowy. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego*. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”, 2 (28), 2001, str. 5-45
 [14] Kaczmarska A., Augustyńska D. *Ograniczenie hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach przemysłowych*, CIOP, Warszawa 1999
 [15] Kaczmarska A., Mikulski W. *Pomiary hałasu w pomieszczeniach biurowych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 9(386)2003, str. 21-25
 [16] Kaczmarska A., Łuczak A. *Kryteria uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku pracy*. CIOP-PIB, praca statutowa II-05, Warszawa 2005

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań objętych tematem nr II-05 pn. „Kryteria uciążliwości hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku pracy” realizowanym w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego