

Warszawa, 26.06.2025 r

Charakterystyka i ocena narażenia na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy

dr inż. Jan Radosz

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

HAŁAS

każdy niepożądany dźwięk, który może być uciążliwy albo szkodliwy dla zdrowia lub zwiększać ryzyko wypadku przy pracy

CHOROBA ZAWODOWA: Obustronny trwały odbiorczy ubytek słuchu typu ślimakowego lub czuciowo-nerwowego spowodowany hałasem, wyrażony podwyższeniem progu słuchu o wielkości co najmniej 45 dB w uchu lepiej słyszającym, obliczony jako średnia arytmetyczna dla częstotliwości audiometrycznych 1,2 i 3 kHz

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych (Dz.U. 2009 nr 105 poz. 869; ZMIANY: Dz.U. 2012 poz. 662; Dz.U. 2021 poz. 1287)

W 2024 r. obustronny trwały ubytek słuchu spowodowany hałasem rozpoznano u 61 osób, co stanowi 2,3% wszystkich 2711 stwierdzonych chorób zawodowych

Ultradźwięki

to fale akustyczne o częstotliwości wyższej niż próg słyszalności dla człowieka, czyli powyżej około 20 kHz



Hałas ultradźwiękowy

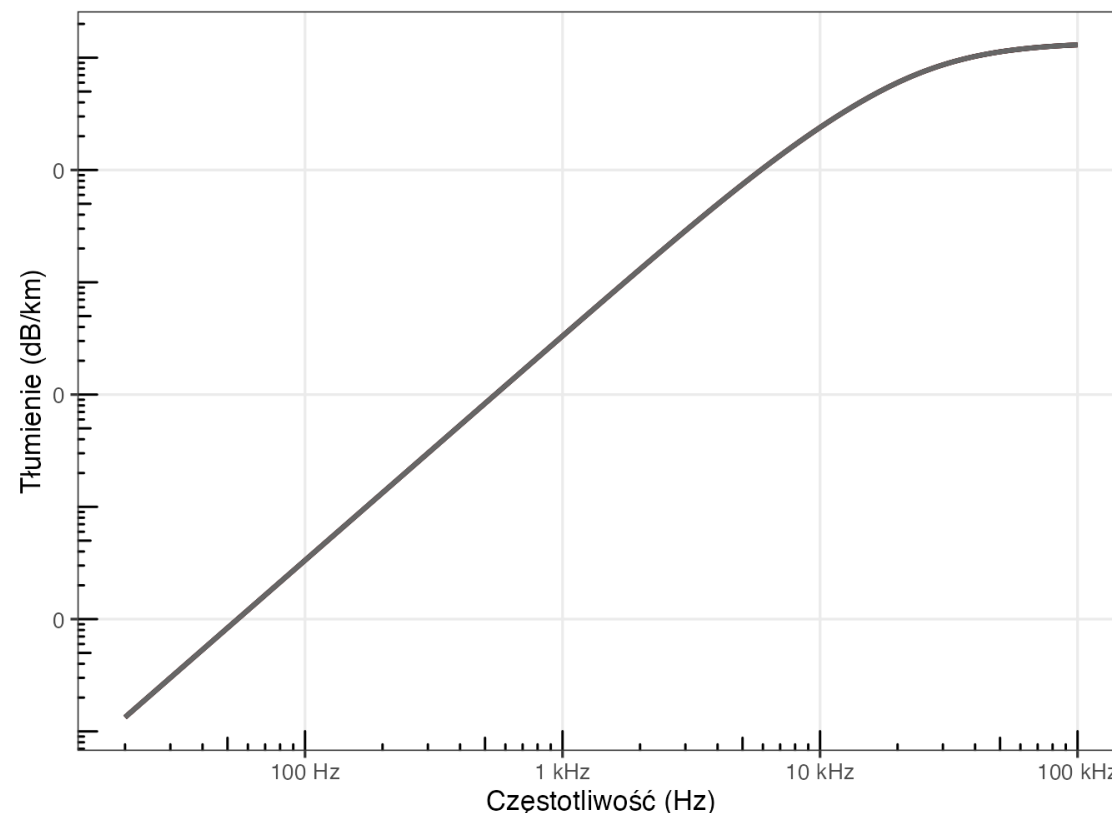
hałas, w widmie którego występują składowe o wysokich częstotliwościach słyszalnych (10 - 16 kHz) i niskich ultradźwiękowych (20 - 40 kHz)



HAŁAS ULTRADŹWIĘKOWY

- wysokie częstotliwości = krótkie fale
- brak wrażeń słuchowych u człowieka powyżej ok. 20 kHz
- silniejsze tłumienie w ośrodkach, w tym również w powietrzu, niż hałasu infradźwiękowego i hałasu słyszalnego
- kierunkowość rozprzestrzeniania

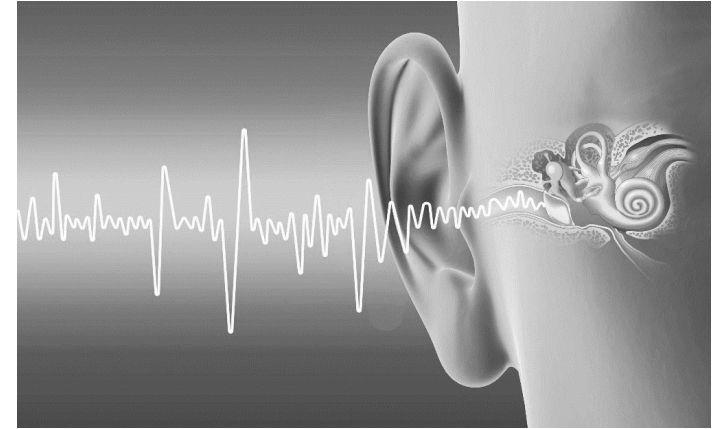
Tłumienie dźwięku w powietrzu a częstotliwość
20 °C, 1013 hPa (wg ISO 9613-1)



ODDZIAŁYWANIE HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO NA CZŁOWIEKA

MECHANIZMY BIOFIZYCZNE I DROGI ODDZIAŁYWANIA

- **Energia akustyczna:** dla składowych $\sim 10\text{--}20\text{ kHz}$ możliwe pobudzenie układu słuchowego
dla $\geq 20\text{ kHz}$ istotne są produkty nieliniowe (subharmoniczne) i towarzyszące składowe słyszalne
- **Absorpcja i ogrzewanie:** w ekspozycjach powietrznych udział energii przekazywanej do tkanek jest mały - efekty termiczne istotne dopiero przy bardzo wysokich poziomach ($\geq 140\text{--}150\text{ dB}$)



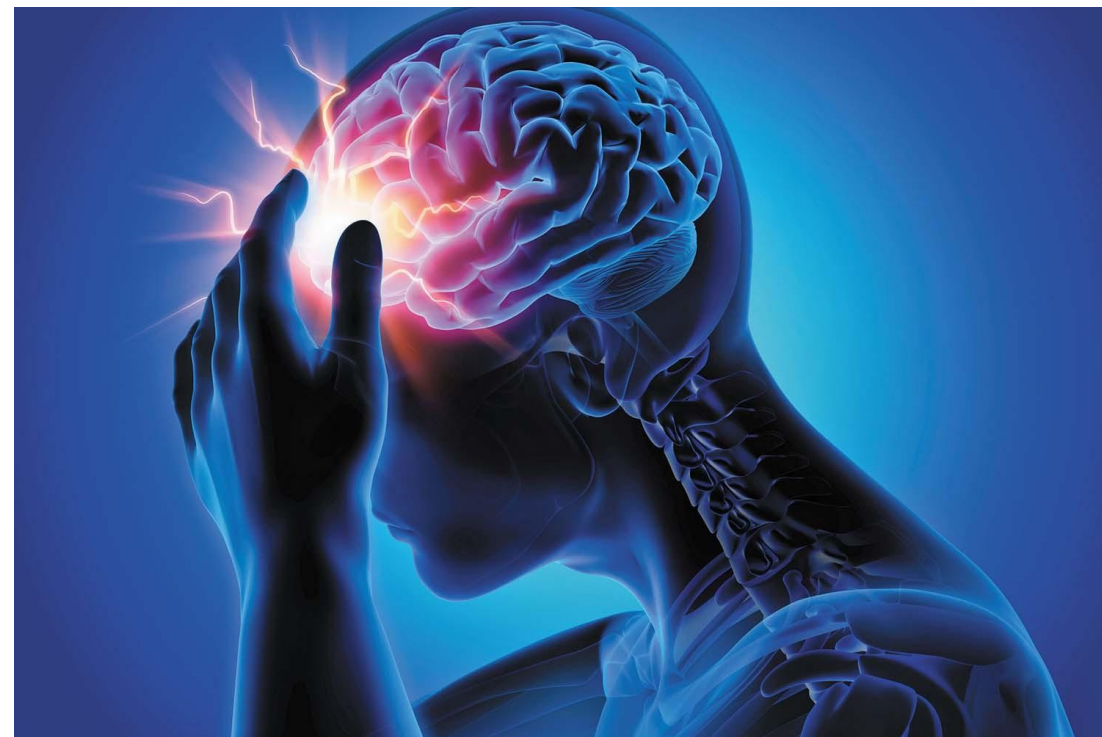
EFEKTY SŁUCHOWE

- we wczesnych badaniach (lata 70.) opisywano TTS przy ekspozycjach o wysokich poziomach (17–37 kHz, 148–154 dB)
- trwałe zmiany słuchu PTS raportowano głównie w pasmach powyżej 8–10 kHz
- ekspozycja na hałas ultradźwiękowy wiąże się z gorszymi progami w rozszerzonej audiometrii (EHFA, 10–16 kHz) wobec grup kontrolnych o podobnym $L_{EX,8h}$, a różnice są wyraźniejsze niż w klasycznym PTA
- próg słyszenia pogarsza się z wiekiem, ale ekspozycja na ultradźwięki pogarsza go dodatkowo – największe różnice 10–14 kHz (efekt widoczny już <5 lat ekspozycji)
- przy podobnym $L_{EX,8h}$ pracownicy z ekspozycją na ultradźwięki mają gorsze progi 8–12,5 kHz niż osoby narażone tylko na hałas słyszalny



EFEKTY POZASŁUCHOWE

- **Objawy subiektywne** (nużliwość, ból głowy, zawroty, nudności, uczucie pełności w uszach) zgłaszane podczas i krótko po ekspozycji *zwykle współwystępują składowe słyszalne*
- **Efekty fizjologiczne** (przejściowe zmiany ciśnienia krwi, gospodarki elektrolitowej/stresu) rzadko i zwykle przypisywane składowym słyszalnym *wymagają dalszych badań*
- **Efekty termiczne** w praktyce nieoczekiwane przy typowych poziomach w powietrzu (źródła przemysłowe)



HAŁAS ULTRADŹWIEKOWY W ROZPORZĄDZENIACH

Pracodawca realizuje obowiązek zapewnienia pracownikom bezpieczeństwa i higieny pracy

W szczególności przez zapobieganie zagrożeniom związanym z wykonywaną pracą, właściwą organizację pracy, stosowanie koniecznych środków profilaktycznych oraz informowanie i szkolenie pracowników.

Powyższy obowiązek powinien być realizowany na podstawie ogólnych zasad dotyczących zapobiegania wypadkom i chorobom związanym z pracą, w szczególności przez:

- **zapobieganie zagrożeniom,**
- **przeprowadzenie oceny ryzyka związanego z zagrożeniami, które nie mogą być wykluczone.**



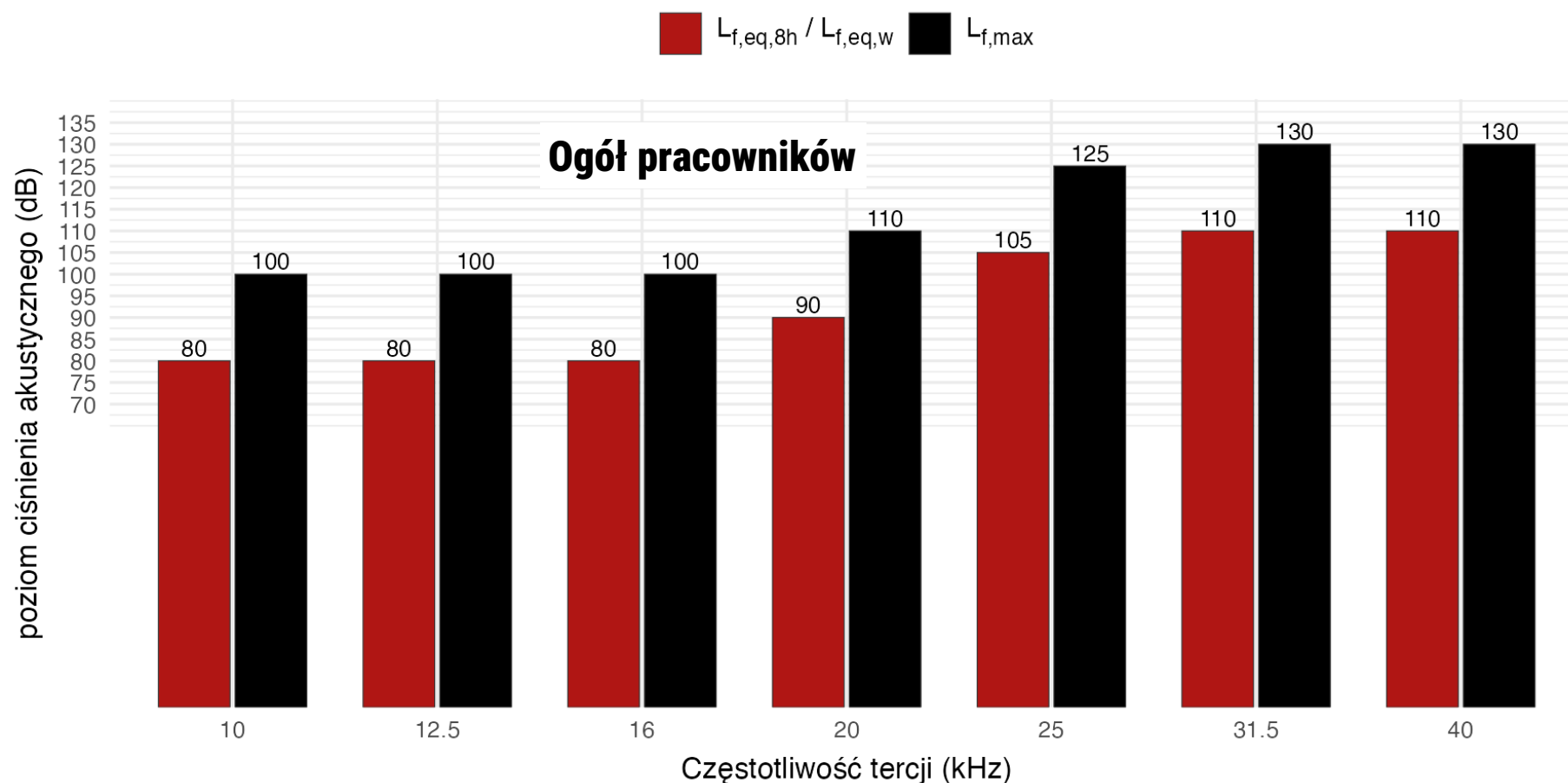
Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (zmiany w 2002 r., 2007 r., 2008 r., 2011 r., 2021 r.)

HAŁAS ULTRADŹWIĘKOWY W ROZPORZĄDZENIACH

- Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie **najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych** dla zdrowia w środowisku pracy (ostania zmiana z 24 czerwca 2024 r.; Dz.U. 2024 poz. 1017)
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie **wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży** i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796)
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie **wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania** przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie **badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia** w środowisku pracy (Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166; ZMIANY: Dz.U. 2019 poz. 1995; Dz.U. 2022 poz. 2662; Dz.U. 2024 poz. 1110)
- Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 1 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie **przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej** nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy (Dz.U. 2023 poz. 607)

WARTOŚCI DOPUSZCZALNE

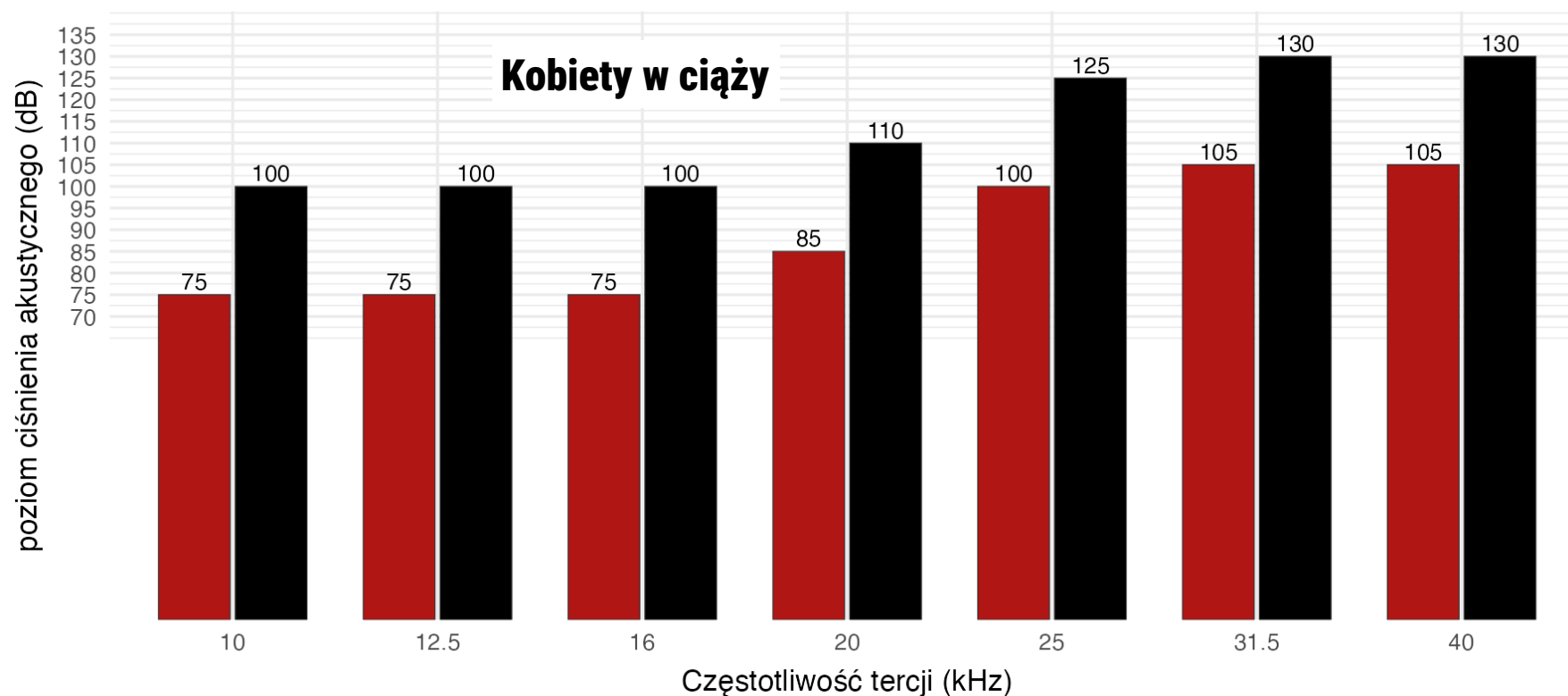
Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (ostania zmiana z 24 czerwca 2024 r.; Dz.U. 2024 poz. 1017)



WARTOŚCI DOPUSZCZALNE

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (Dz.U. 2017 poz. 796)

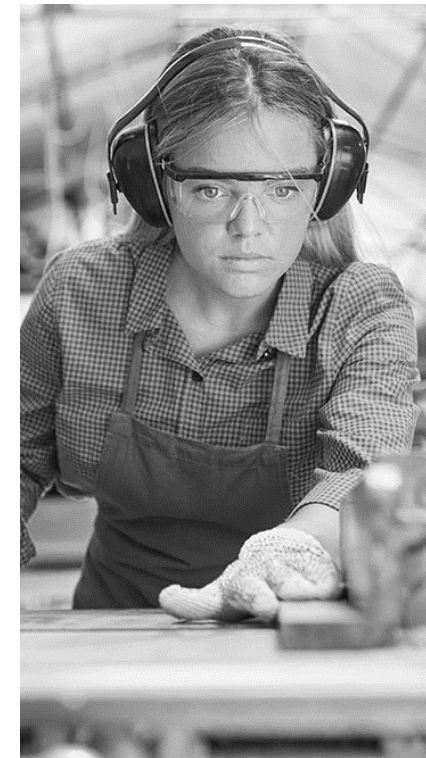
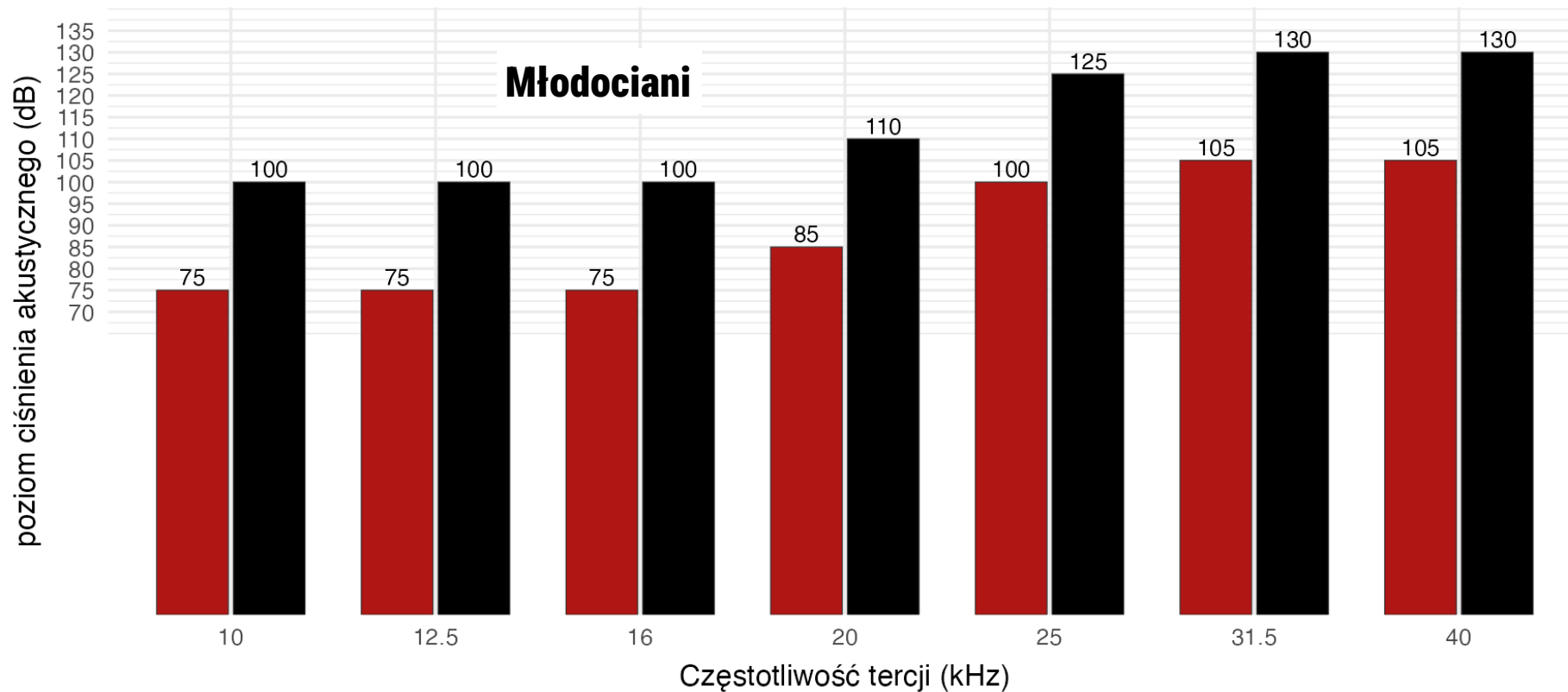
■ $L_{f,eq,8h} / L_{f,eq,w}$ ■ $L_{f,max}$



WARTOŚCI DOPUSZCZALNE

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023 poz. 1240)

■ $L_{f,eq,8h} / L_{f,eq,w}$ ■ $L_{f,max}$



BADANIA HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy

(Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166; ZMIANY: Dz.U. 2019 poz. 1995; Dz.U. 2022 poz. 2662; Dz.U. 2024 poz. 1110)

Badania hałasu ultradźwiękowego wykonuje się:

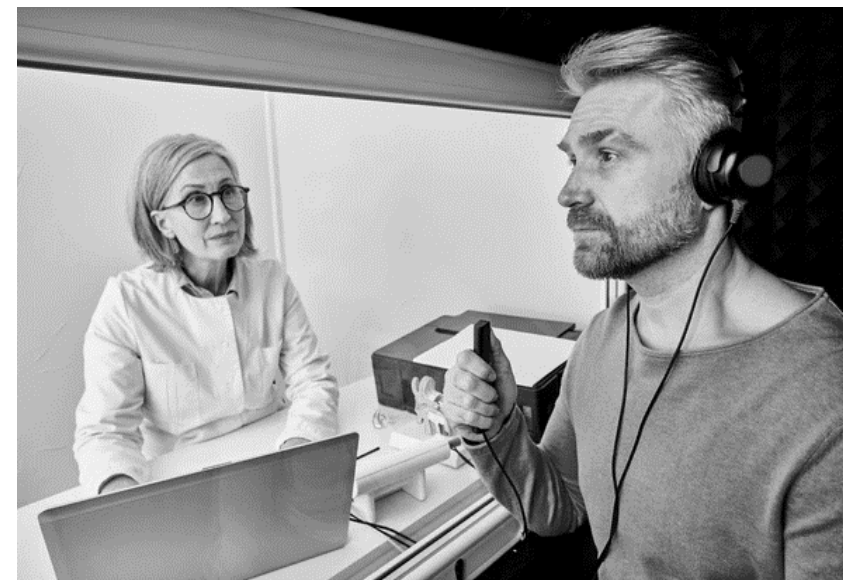
- 1) **co najmniej raz na dwa lata** – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono natężenie czynnika powyżej 0,2 do 0,5 wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN)
- 2) **co najmniej raz w roku** – jeżeli podczas ostatniego badania i pomiaru stwierdzono natężenie czynnika powyżej 0,5 wartości NDN.



Jeżeli podczas dwóch ostatnich badań i pomiarów hałasu ultradźwiękowego, wykonanych w odstępie dwóch lat, natężenie czynnika nie przekraczało 0,2 wartości NDN, pracodawca może odstąpić od wykonywania badań i pomiarów. Badania i pomiary wykonuje się zgodnie z metodą określoną w Polskiej Normie PN-Z-01339:2020.

BADANIA LEKARSKIE PRACOWNIKÓW

Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 1 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy Dz.U. 2023 poz. 607



Czynnik szkodliwy	Zakres badań profilaktycznych	Częstotliwość badań profilaktycznych
Hałas ultradźwiękowy	Badanie lekarskie, badanie otoskopowe, audiometria tonalna (badanie przewodnictwa powietrznego dla częstotliwości 0,5–8 kHz)	Co 3 lata

POMIARY HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO

METODA POMIARÓW

PN-Z-01339:2020-12

Hałas ultradźwiękowy - Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów w środowisku pracy

Pomiary hałasu ultradźwiękowego, dla potrzeb oceny narażenia pracownika na danym stanowisku pracy ten rodzaj hałasu, przeprowadza się uwzględniając :

- typowe dla tego stanowiska miejscach przebywania pracownika,
- wszystkie wykonywane czynności w narażeniu na hałas ultradźwiękowy
- standardowe warunki eksploatacji narzędzia, maszyny czy urządzenia będącego źródłem hałasu.



Miernik/analizator poziomu dźwięku

Pomiary hałasu ultradźwiękowego należy przeprowadzać za pomocą miernika/analizatora:

- spełniającego wymagania zawarte w normie PN-EN 61672-1:2014-03 oraz w normie PN-EN 61260-1:2015-01 w zakresie częstotliwości do 20 kHz dla przyrządów pomiarowych klasy 1.
- wyposażonego w filtry pasmowe 1/3-oktawowe o częstotliwościach środkowych z zakresu co najmniej 10 ÷ 40 kHz, spełniające wymagania zawarte w normie PN-EN 61260-1:2015-01
- wyposażonego w mikrofon pola swobodnego spełniający wymagania zawarte w normie PN-EN 61094-4:2000.

ŹRÓDŁA HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO W PRZEMYŚLE

ZGRZEWARKI ULTRADŹWIĘKOWE

ZASTOSOWANIA

Łączenie tworzyw sztucznych bez spoiw, zgrzewanie w montażu drobnych komponentów, zamykanie obudów lub łączenia folii wielowarstwowych, tłoczenie i wtapianie elementów metalowych (np. nitów, tulejek, styków) w tworzywa, uszczelnianie i zgrzewanie opakowań z folii oraz zamykanie filtrów, masek czy saszetek. Spajanie i kształtowanie detali technicznych

Motoryzacja (automotive) – spawanie elementów kokpitów, lamp, czujników, obudów elektroniki, izolacji akustycznych, filtrów powietrza i paliwa.

Elektronika i AGD/RTV – hermetyzacja obudów, zgrzewanie mikrodetali, czujników, baterii, mikroobudów i kabli.

Medycyna i farmacja – filtry, strzykawki, elementy sprzętu jednorazowego, maseczki, zestawy testowe (czyste i szczelne połączenia).

Przemysł opakowaniowy – zamykanie saszetek, blisterów, tub i worków foliowych.

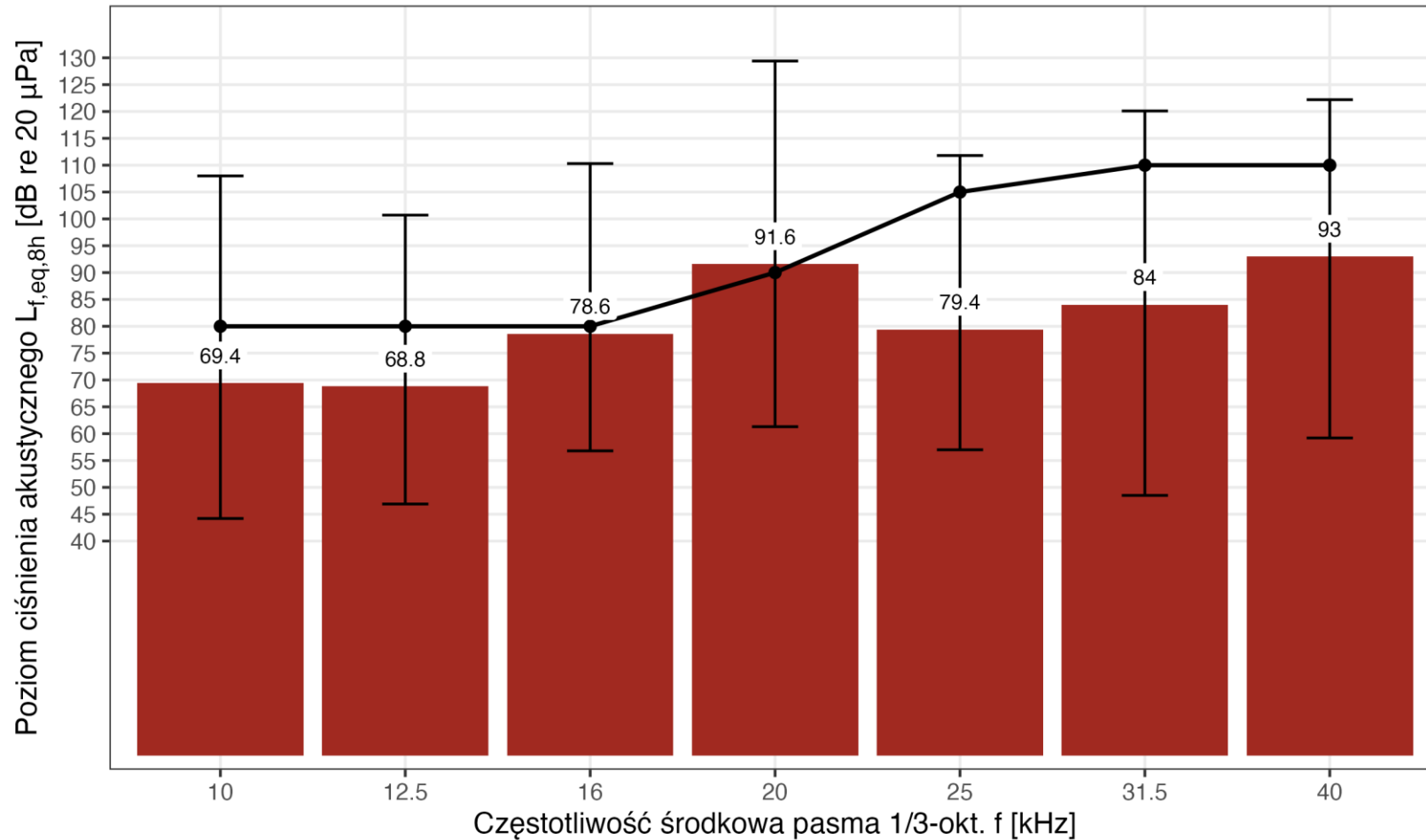
Filtracja i HVAC – zgrzewanie ram filtrów, uszczelnianie siatek i tkanin filtracyjnych.



Źródła hałasu ultradźwiękowego - ZGRZEWARKI ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

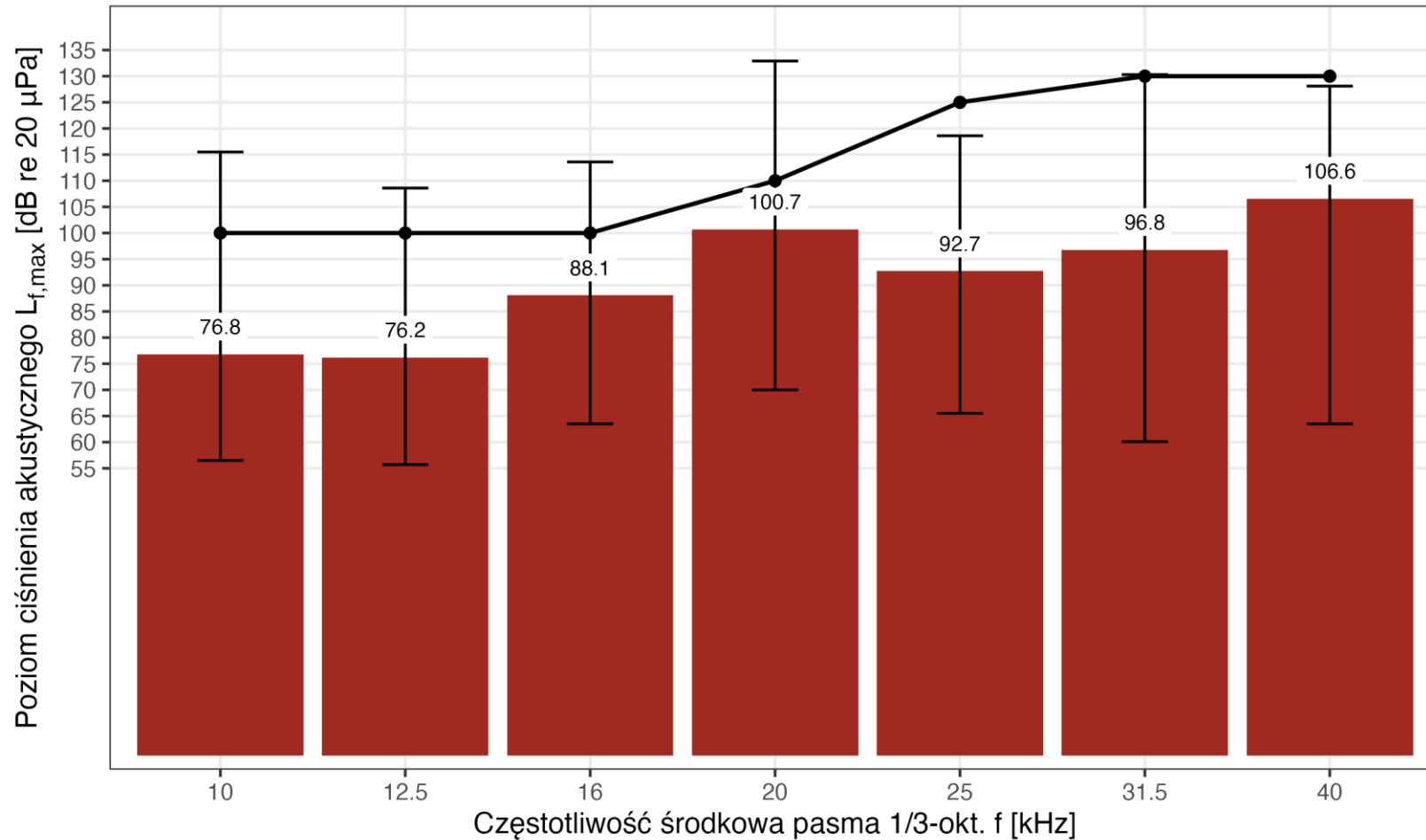
Zgrzewarki ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Źródła hałasu ultradźwiękowego - ZGRZEWARKI ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Zgrzewarki ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



MYJKI ULTRADŹWIĘKOWE

ZASTOSOWANIA

Czyszczenie precyzyjne elementów o złożonej geometrii (kanały, otwory, szczeliny) za pomocą zjawiska kawitacji, odtłuszczenie i usuwanie osadów z powierzchni metalowych i ceramicznych, przygotowanie powierzchni przed obróbką, mycie delikatnych części (narzędzia chirurgiczne, soczewki, podzespoły elektroniczne, biżuteria)

Przemysł metalowy i precyzyjny – czyszczenie elementów mechanicznych, wtryskowych, form, narzędzi.

Elektronika i optoelektronika – płytki PCB, soczewki, mikromechanika, czujniki.

Motoryzacja i lotnictwo – elementy silników, układów paliwowych, wtryskiwaczy, łożysk.

Medycyna i stomatologia – dezynfekcja narzędzi, implantów, endoprotez, instrumentarium chirurgicznego.

Jubilerstwo i zegarmistrzostwo – biżuteria, zegarki, detale z mikrozanieczyszczeniami.

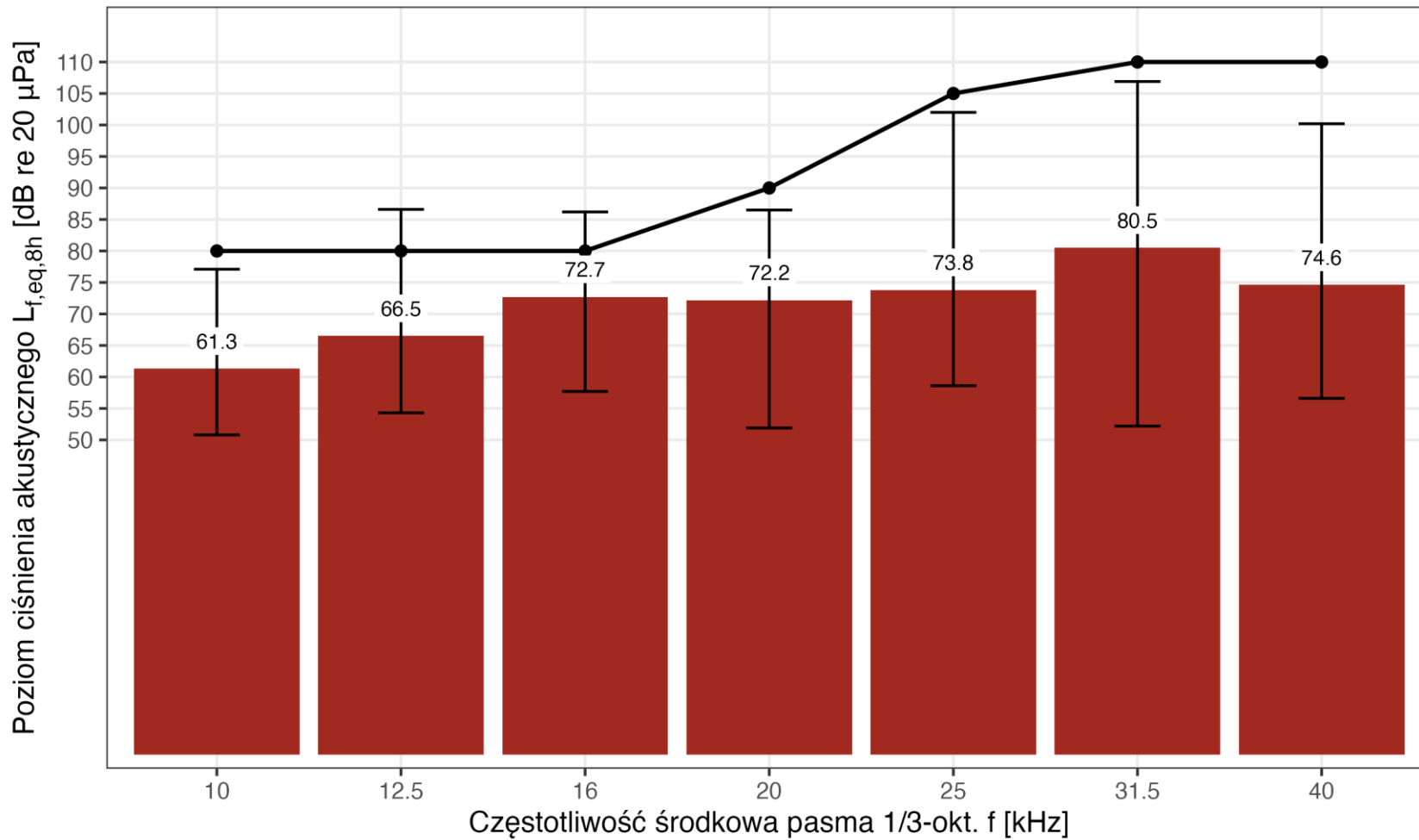
Laboratoria i konserwacja zabytków – mycie próbek, szkła laboratoryjnego, czyszczenie metali szlachetnych i ceramiki.



Źródła hałasu ultradźwiękowego - MYJKI ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

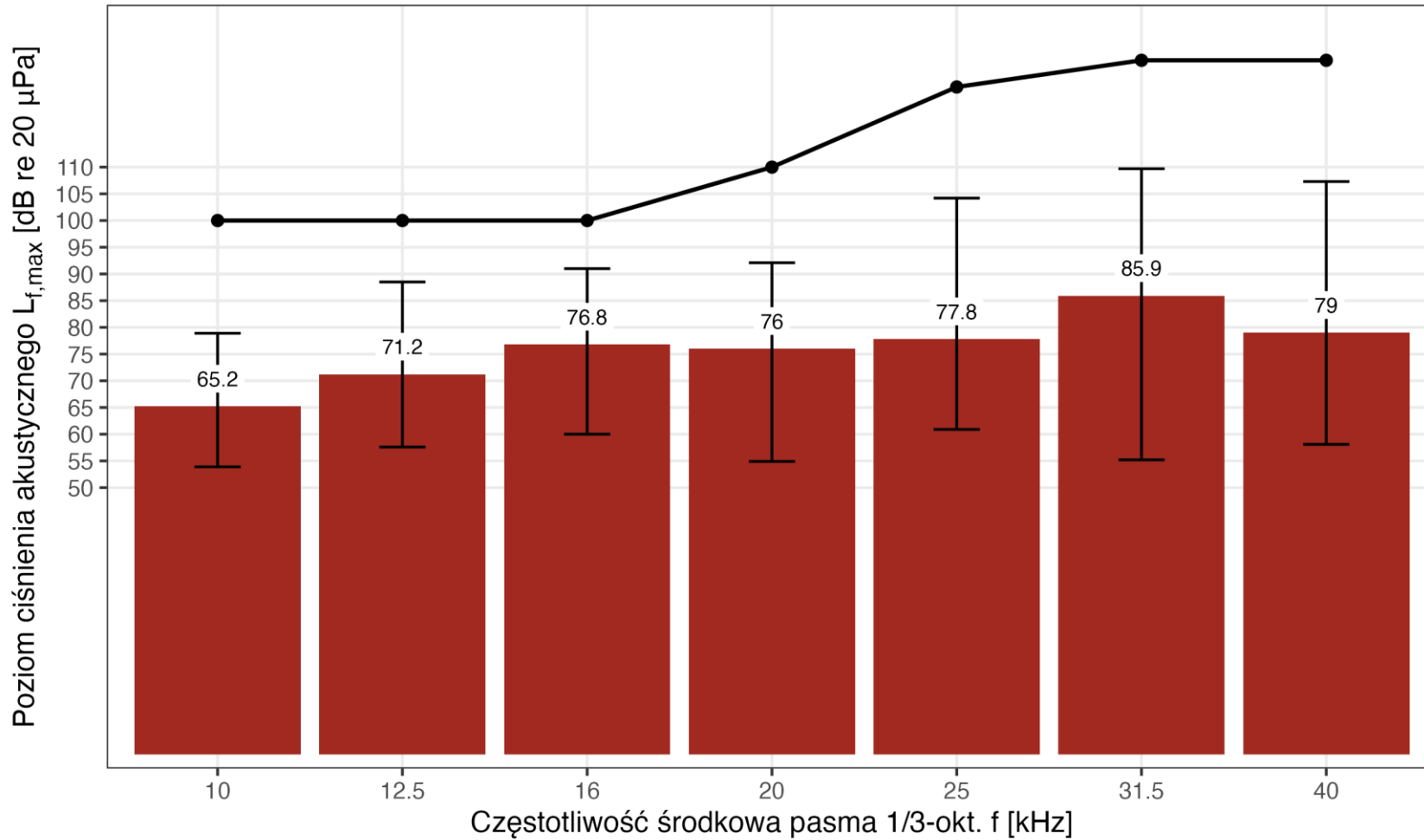
Myjki ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Źródła hałasu ultradźwiękowego - MYJKI ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Myjki ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



GILOTYNY ULTRADŹWIĘKOWE

ZASTOSOWANIA

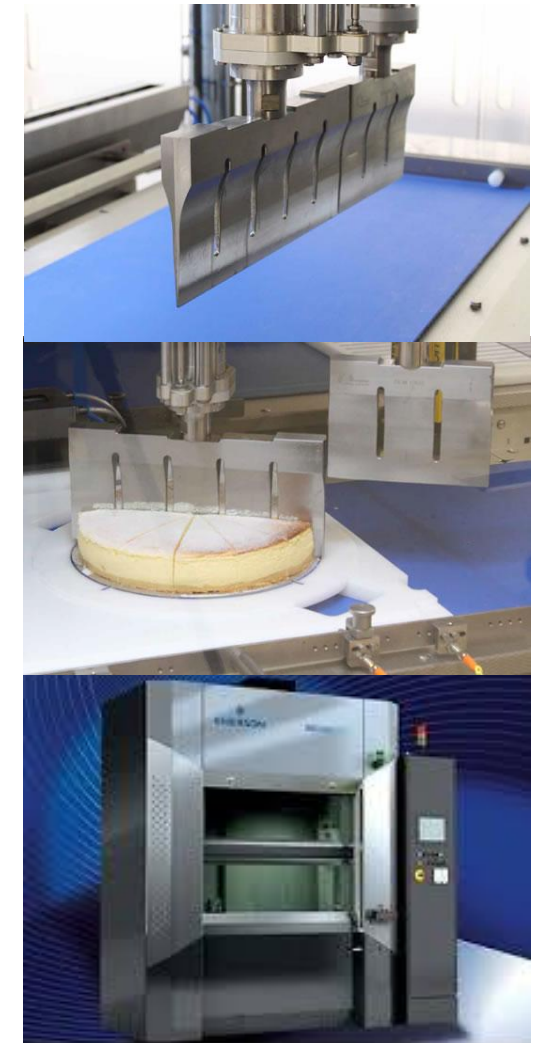
Precyzyjne cięcie elementów miękkich lub wielowarstwowych (tkaniny, folie, laminaty, żywność) z gładką krawędzią i bez zanieczyszczeń dzięki ograniczonemu tarcia i przywieraniu.

branża spożywcza – krojenie serów, ciast, batonów, czekolad, produktów mrożonych i warstwowych

branża tekstylna – cięcie tkanin technicznych, taśm, włóknin

branża opakowaniowa – cięcie folii, laminatów

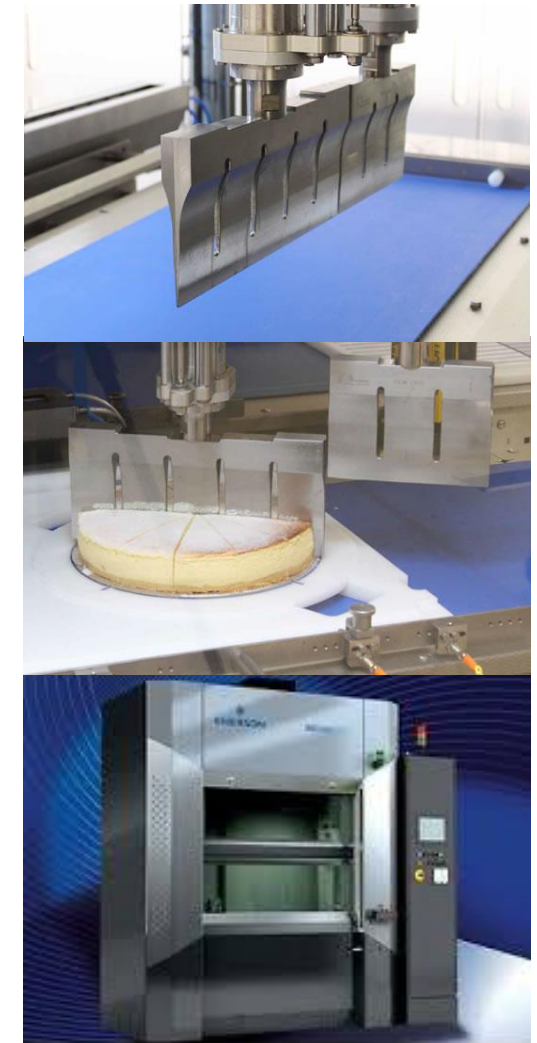
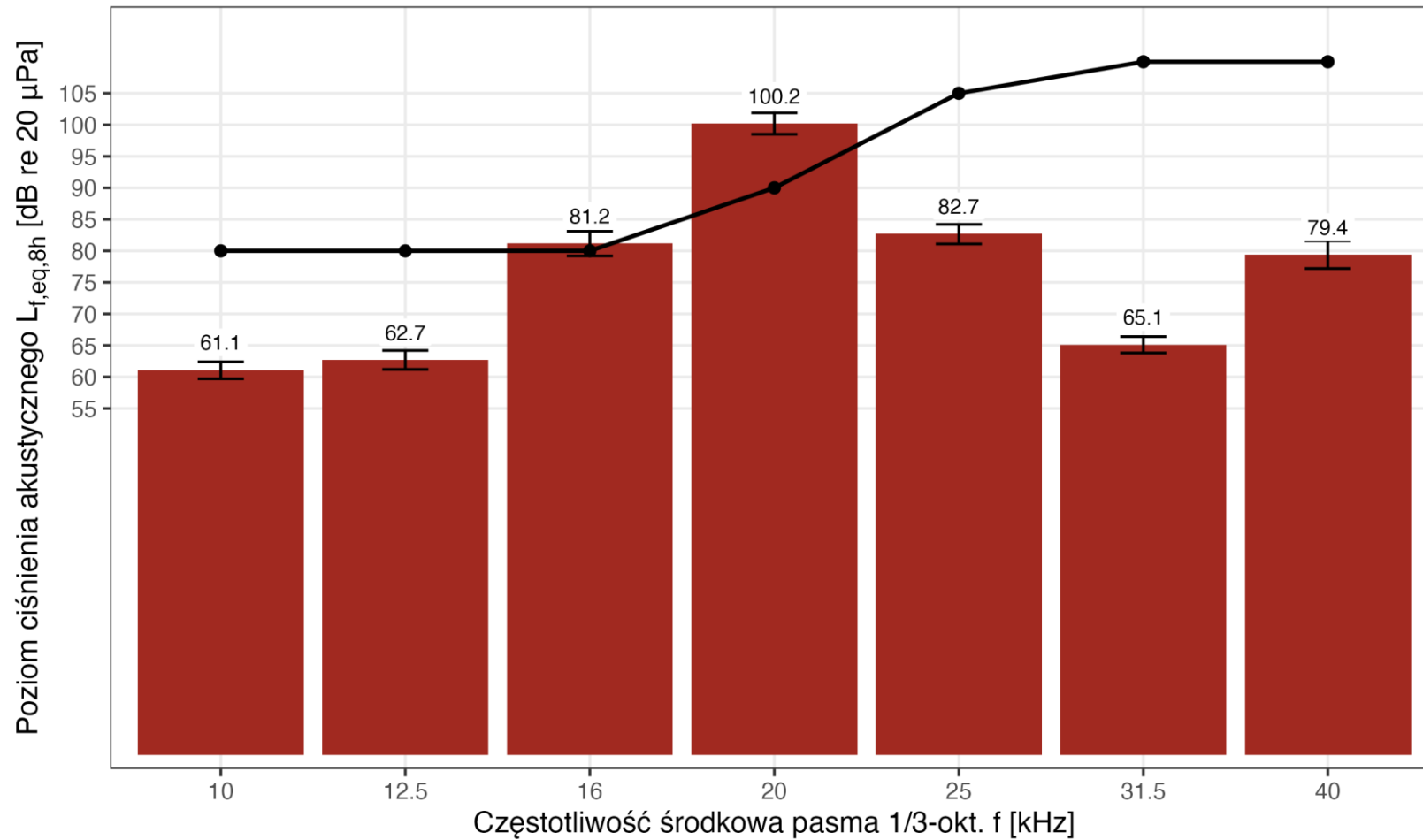
branża kompozytowa – rozdzielanie cienkich warstw materiałów syntetycznych



Źródła hałasu ultradźwiękowego - GILOTYNY ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

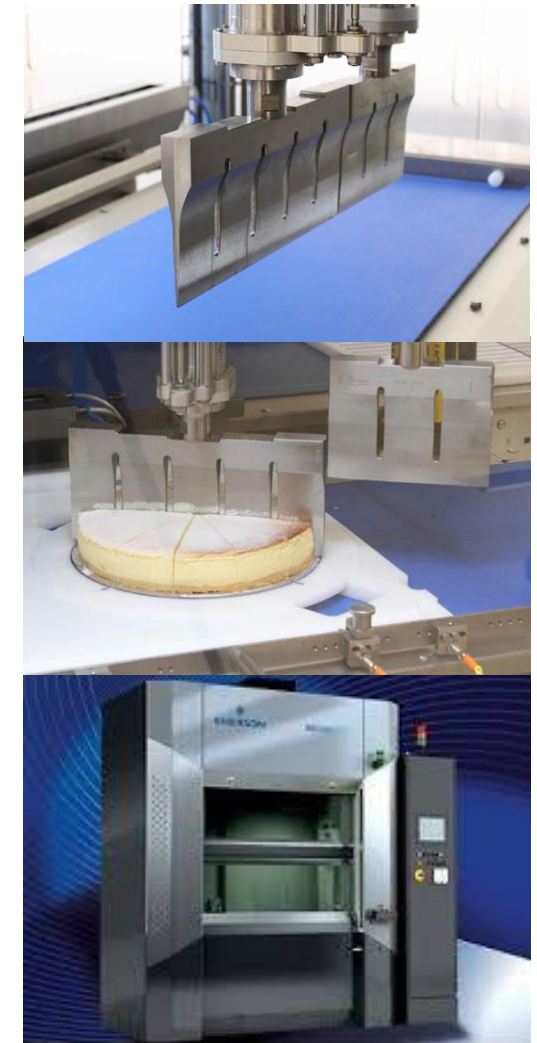
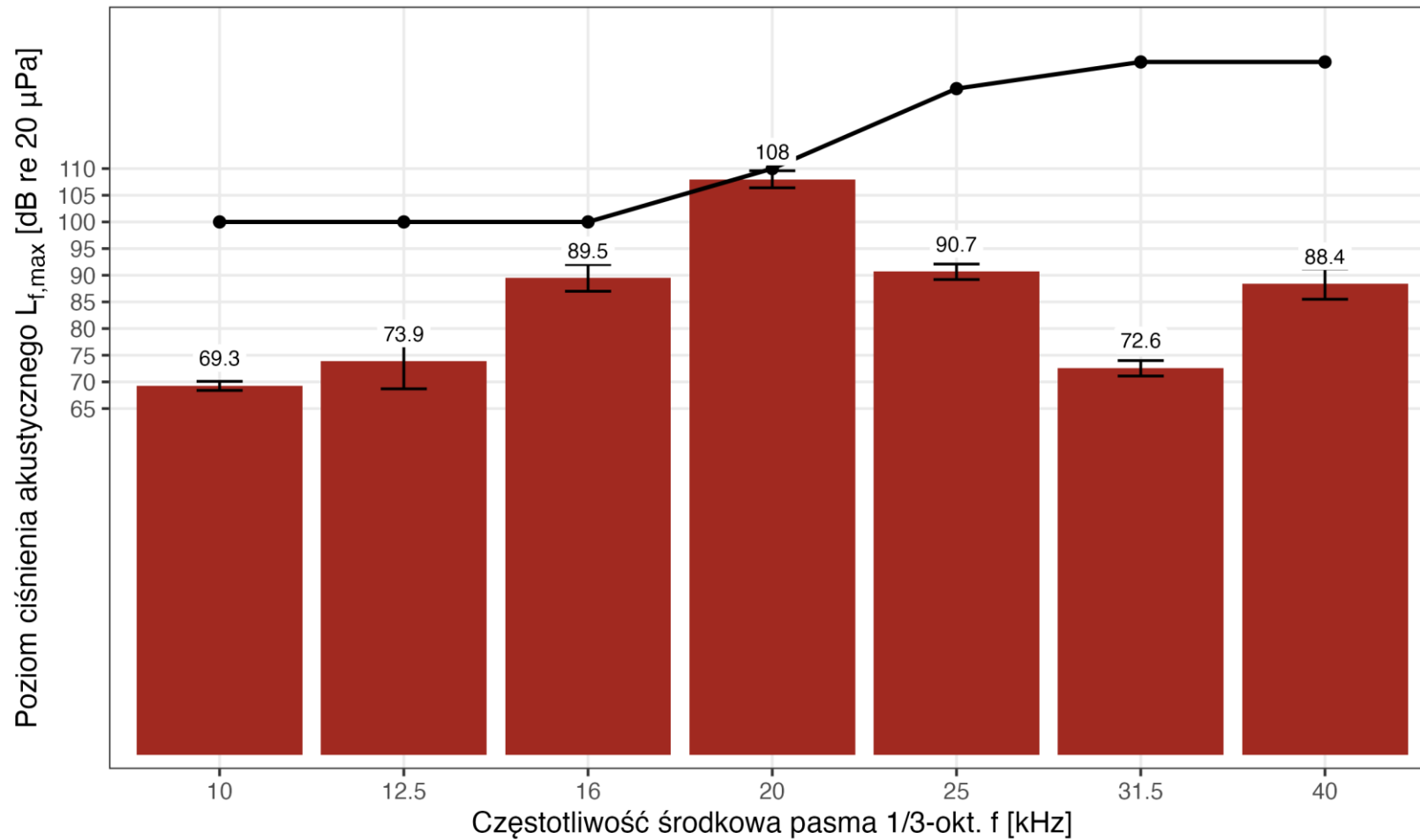
Gilotyny ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Źródła hałasu ultradźwiękowego - GILOTYNY ULTRADŹWIĘKOWE

$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Gilotyny ultradźwiękowe — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



MASZYNY UD DO OBRÓBKI TKANIN

ZASTOSOWANIA

Cięcie i jednoczesne zgrzewanie krawędzi (slit-cut & seal), łączenie bez nici i klejów perforowanie / wzorowanie (embossing), obróbka konturowa elementów wycinanych z włóknin i tkanin technicznych (np. maski, filtry, wkładki). Wykańczanie brzegów lamówek, taśm i obszyci.

Tekstylika i tkaniny techniczne – koronki, taśmy, włókniny (PP/PET), odzież robocza.

Higiena i medycyna – maseczki, fartuchy, czepki, jednorazowe bariery ochronne, materiały do sterylizacji.

Filtracja i HVAC – media filtracyjne z włóknin, harmonijkowanie i zgrzewy bezkontaminacyjne.

Automotive / transport – elementy poszyci i wykończeń z włóknin/laminatów, wygłuszenia, pokrowce.

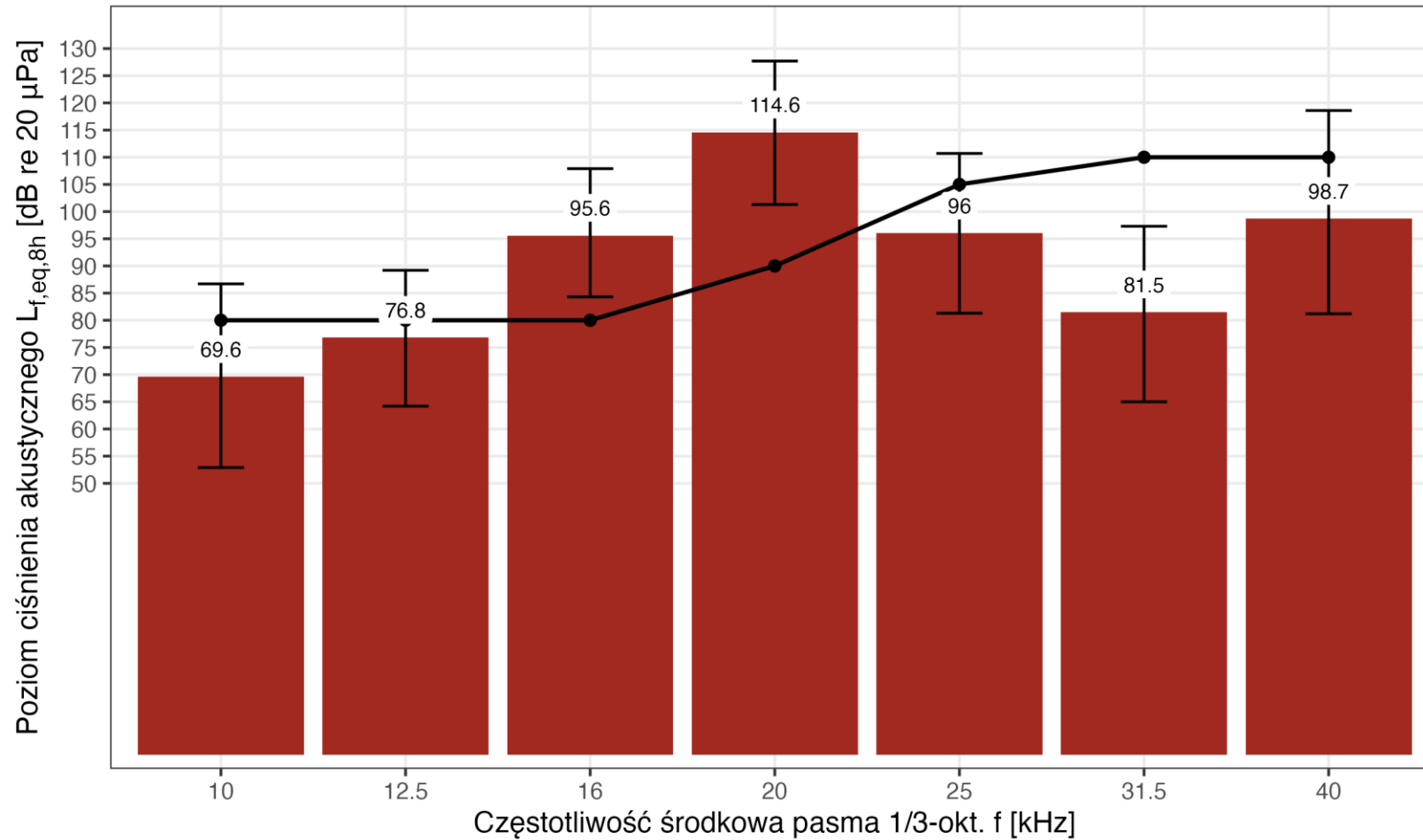
Meblarstwo i tapicerka – obrzeża, lamowanie i łączenie warstw materiałów obiciowych.



Źródła hałasu ultradźwiękowego - MASZYNY UD DO OBRÓBKI TKANIN

$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

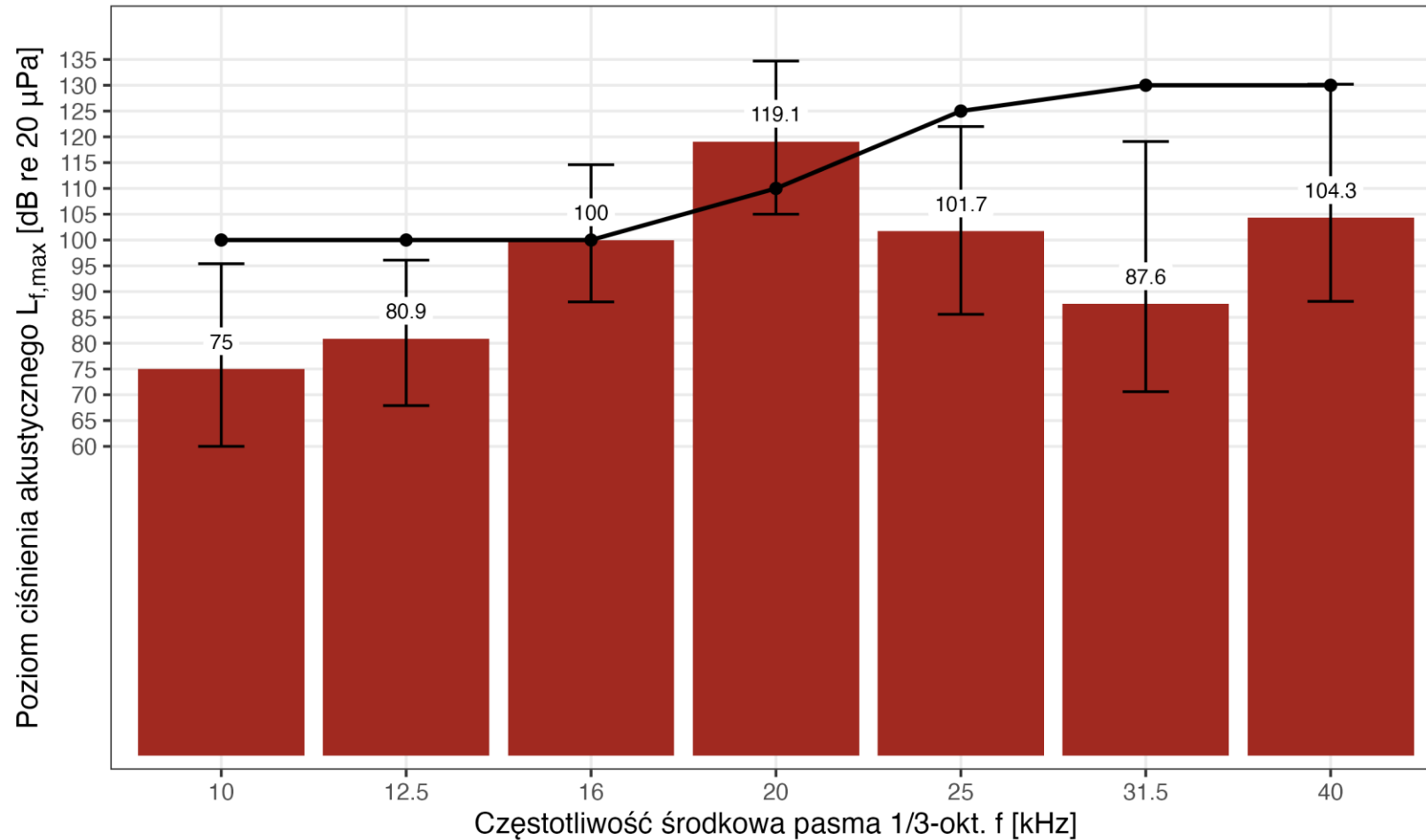
Maszyny do obróbki tkanin (UD) — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Źródła hałasu ultradźwiękowego - MASZyny UD DO OBRÓBKI TKANIN

$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Maszyny do obróbki tkanin (UD) — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Pozostałe źródła hałasu ultradźwiękowego

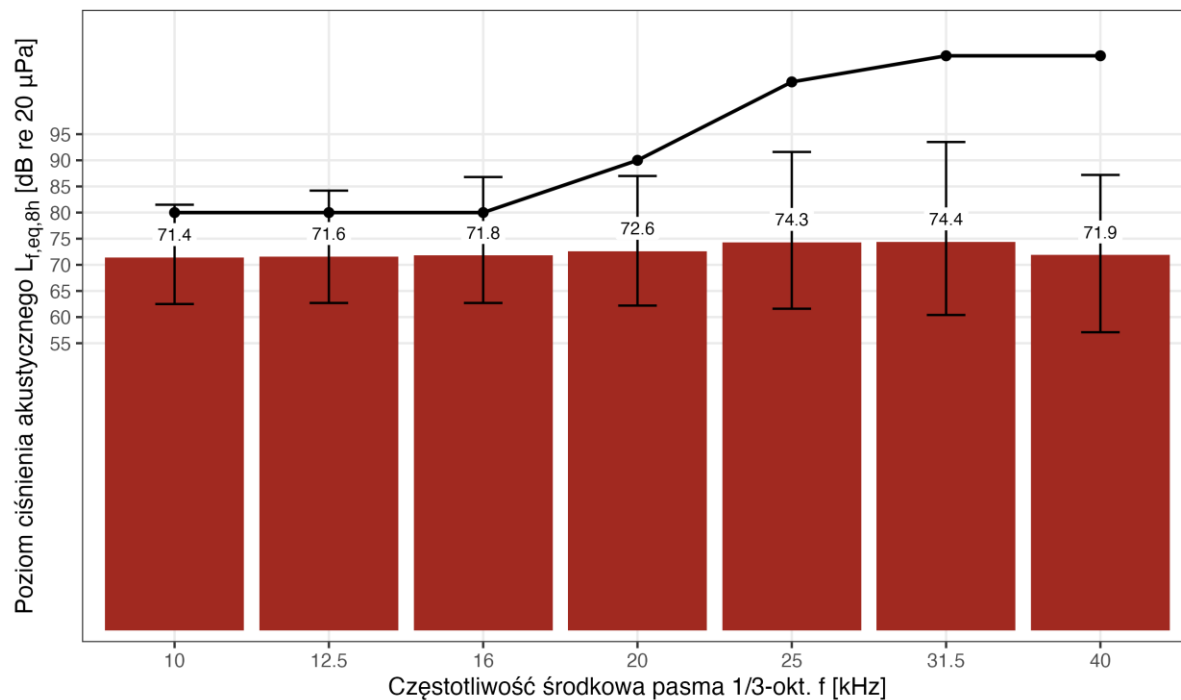
SPAWANIE I CIĘCIE (ŁUK/PLAZMA, GAZOWE)

Zastosowania: procesy łączenia i rozdzielania metali; ultradźwięki powstają jako uboczna emisja (łuk, strumień plazmy, dy

Branże: konstrukcje stalowe, stocznie, górnictwo/energetyka, utrzymanie ruchu, produkcja maszyn.

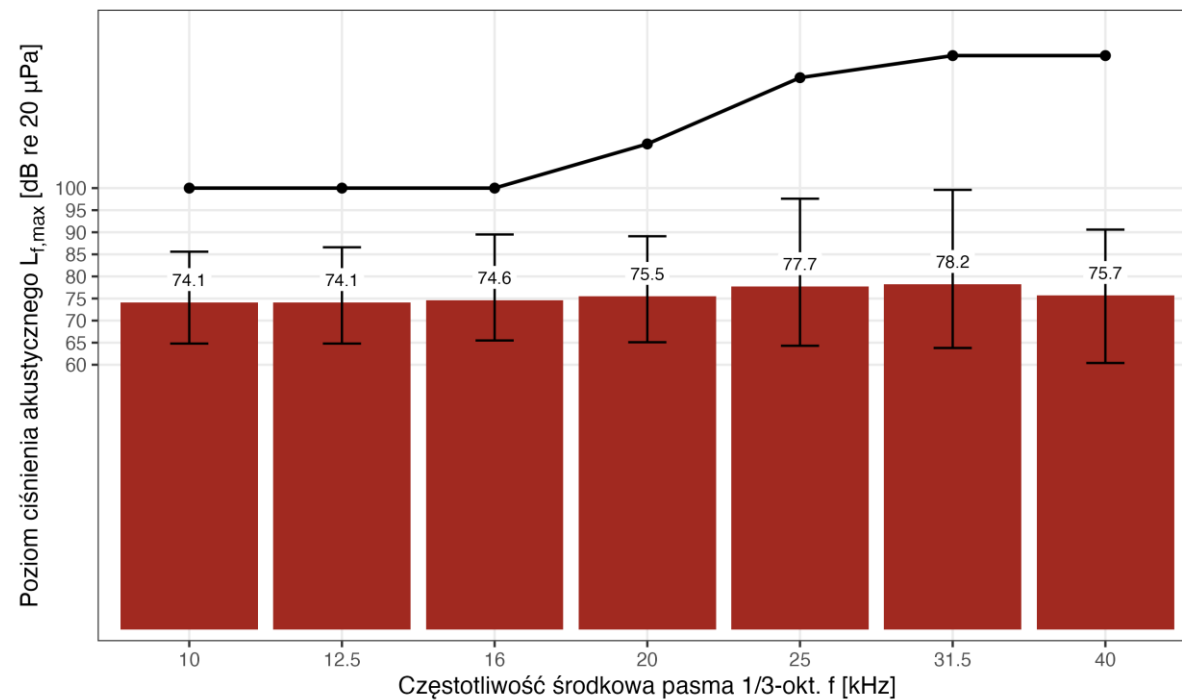
$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Spawanie / cięcie plazmą — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Spawanie / cięcie plazmą — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Pozostałe źródła hałasu ultradźwiękowego

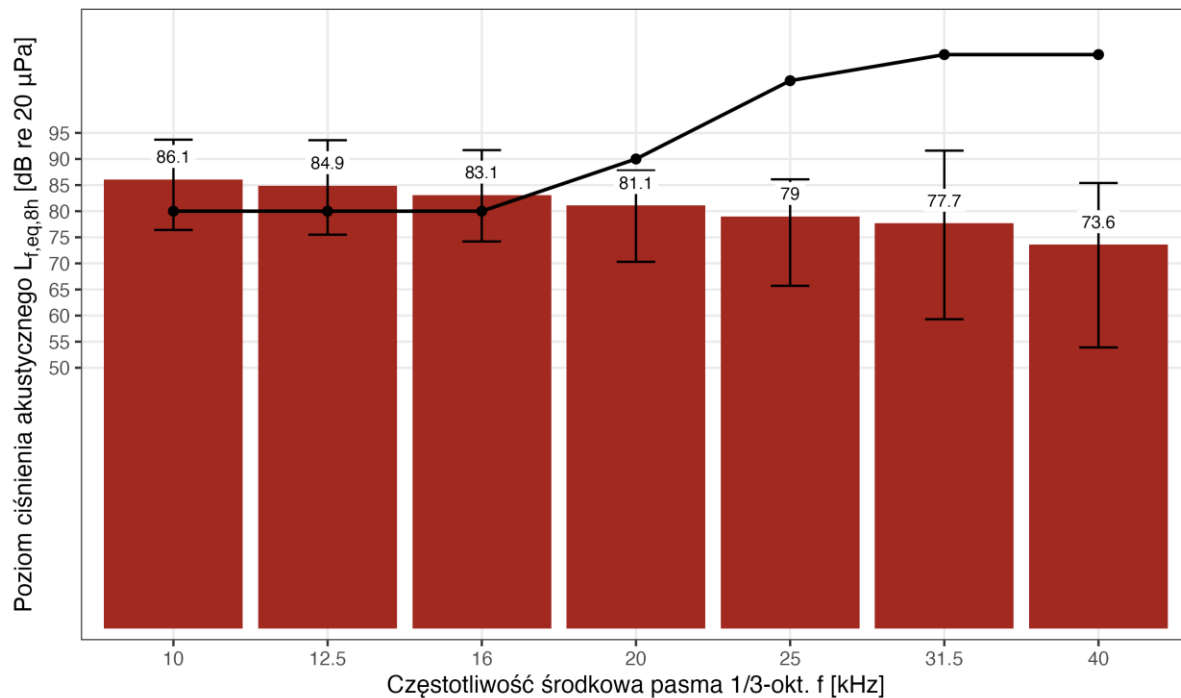
SZLIFIERKI

Zastosowania: zdzieranie, wyrównywanie i wykańczanie powierzchni; emisje ultradźwiękowe jako skutek tarcia/rezonansów narzędzia.

Branże: obróbka metali i narzędzi, automotive (elementy precyzyjne), lotnictwo, odlewnictwo, budowa maszyn.

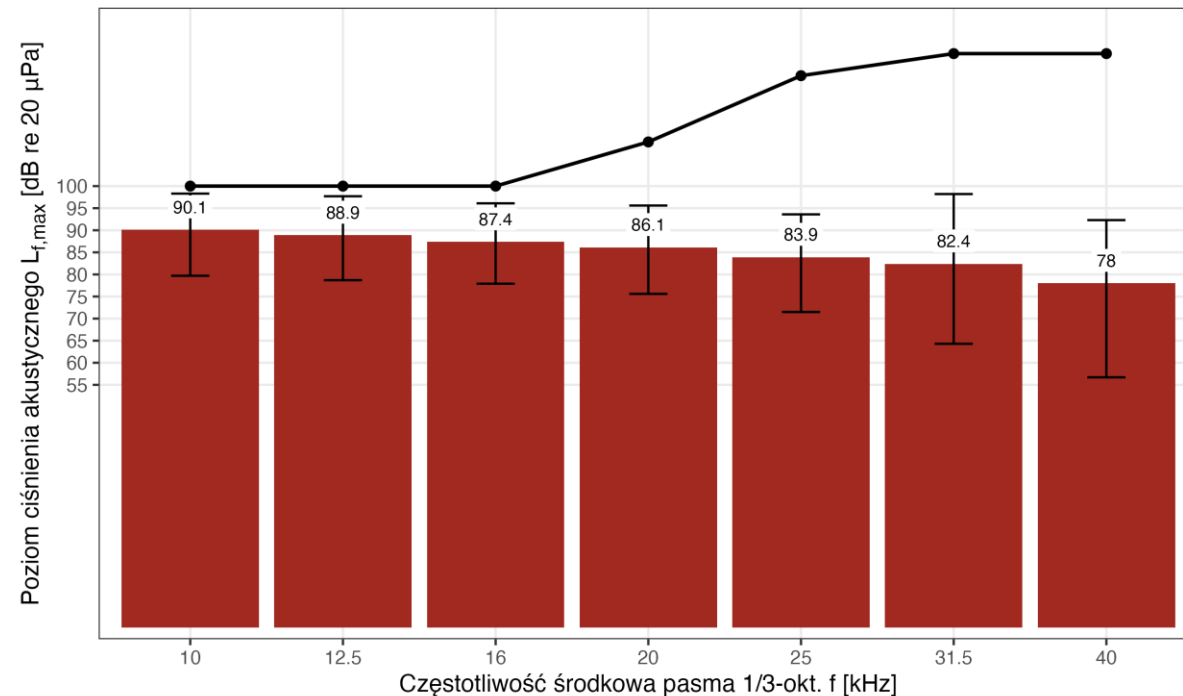
$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Szlifierki — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Szlifierki — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Pozostałe źródła hałasu ultradźwiękowego

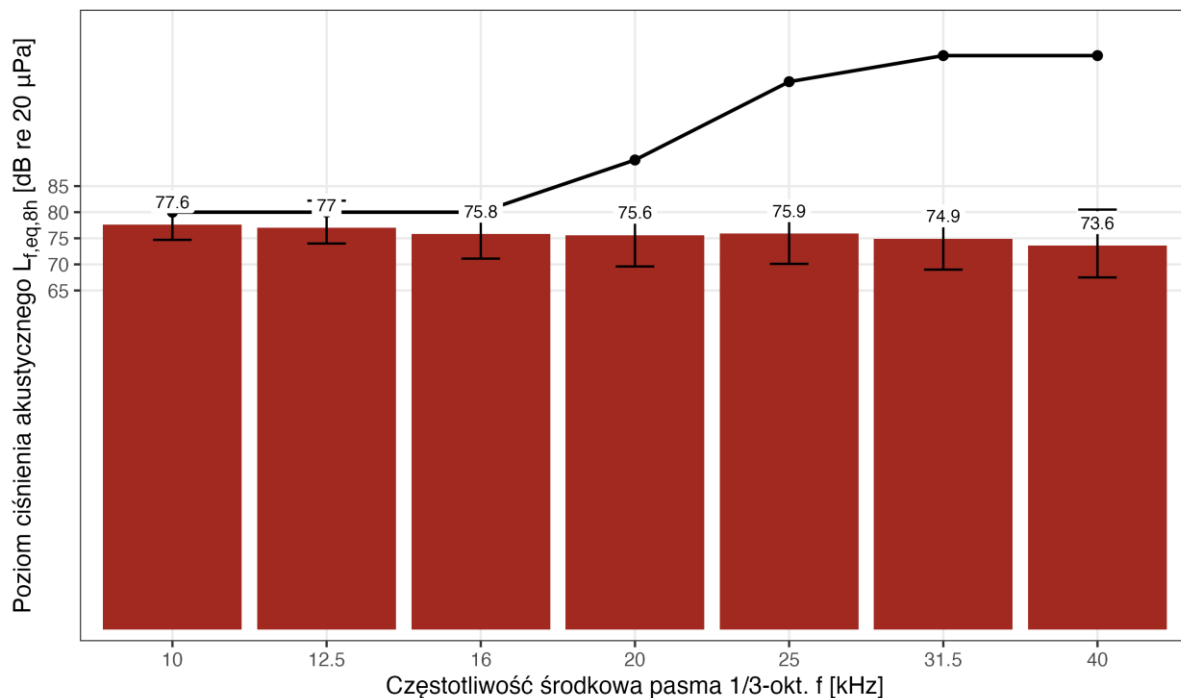
PIŁY I STRUGARKI

Zastosowania: rozkrój i kształtowanie elementów z drewna, tworzyw i lekkich kompozytów; emisje w wysokich pasmach przy dużych obrotach.

Branże: stolarka/meblarstwo, prefabrykacja budowlana, przetwórstwo tworzyw, produkcja opakowań z płyty.

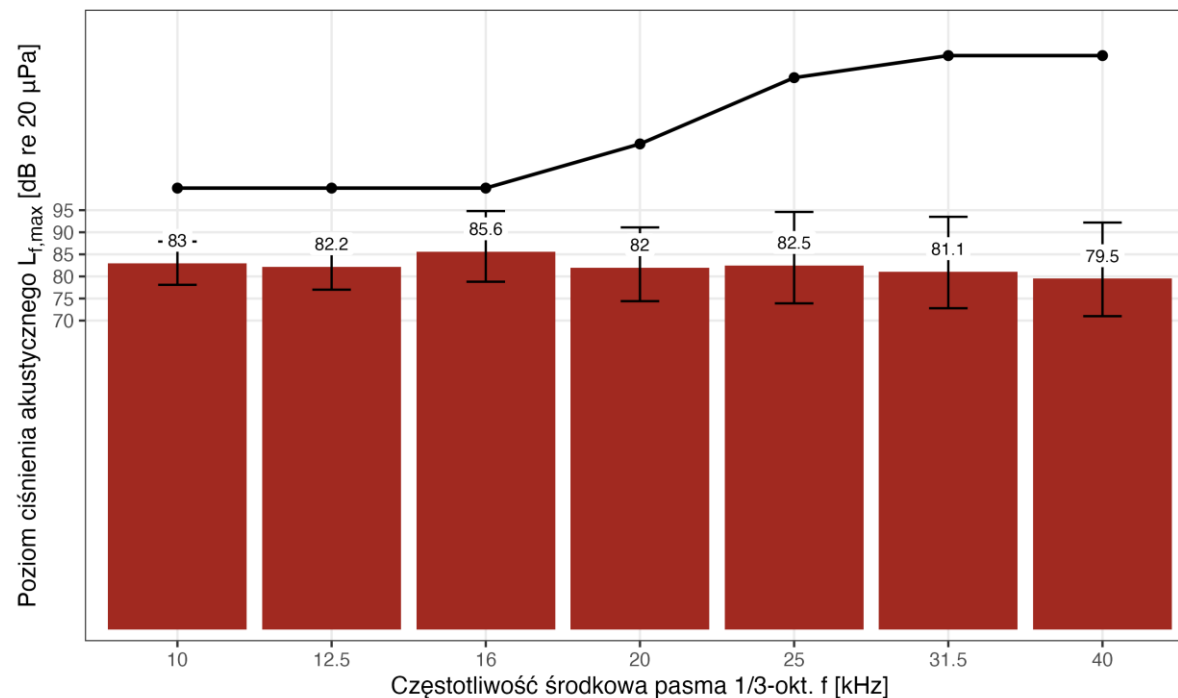
$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Piły i strugarki — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Piły i strugarki — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



Pozostałe źródła hałasu ultradźwiękowego

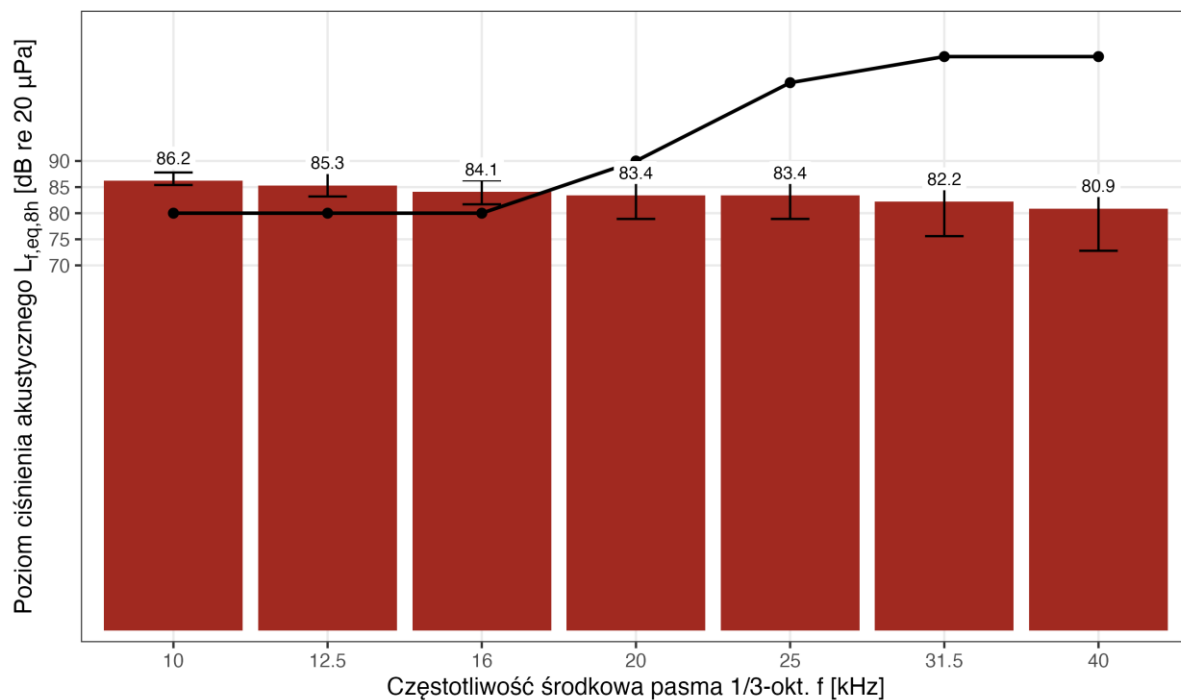
INNE (PNEUMATYKA, SPRĘŻONE POWIETRZE, DYSZE)

Zastosowania: wydmuch/oczyszczanie, chłodzenie, napęd narzędzi; intensywne składowe HF/UD od strug powietrza i rezonansów przewodów.

Branże: montaż i pakowanie, automatyka/pneumatyka, linie produkcyjne, utrzymanie ruchu, warsztaty serwisowe.

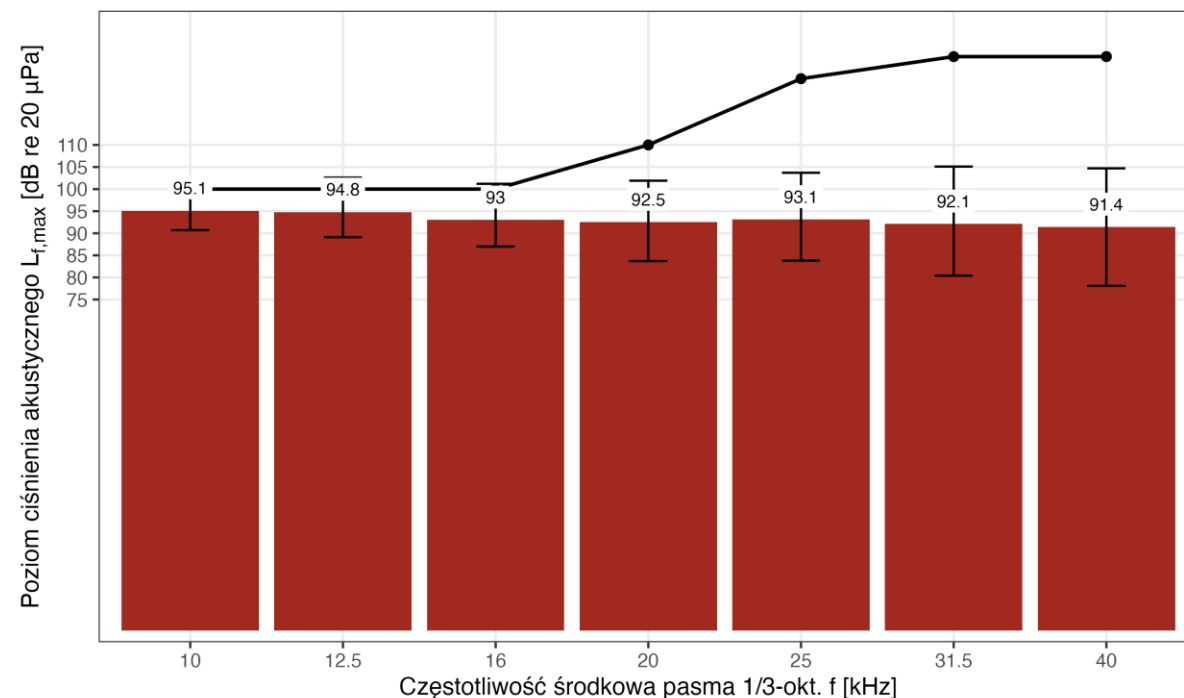
$L_{f,eq,8h}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Inne (pneumatyka, sprężone powietrze) — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



$L_{f,max}$ (średnie + zakresy) vs NDN

Inne (pneumatyka, sprężone powietrze) — pasma 1/3-okt. 10–40 kHz



BADANIA HAŁASU ULTRADŹWIĘKOWEGO

Celowość podjęcia badań

1 Ostatnia rewizja wartości dopuszczalnych hałasu ultradźwiękowego miała miejsce w 2001 r. i oparta była m.in. na wytycznych WHO z 1982 r. oraz IRPA z 1984 r. Wartości dopuszczalne, które zostały przyjęte w Polsce oraz w innych krajach bazują w dużej mierze na wynikach badań z lat 70-80-tych. Wiele z tych **doniesień naukowych nie ma potwierdzenia wyników badań przez innych badaczy.**

2 **Duże rozbieżności dotyczące aparatury pomiarowej** stosowanej w dotychczasowych badaniach, co niekorzystnie wpływa na możliwość porównywania wyników badań uzyskanych przez różne ośrodki. Wyniki prac prowadzonych w CIOP-PIB wykazały, że różnice w wynikach pomiarów w zależności od konfiguracji aparatury pomiarowej mogą sięgać od 2 do 5 dB dla zakresu 20-40 kHz.

3 Potrzeba badań wynika również z projektu podjętego przez grupę projektową **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection** (ICNIRP) pn. "Investigate the data on ultrasound exposure and prepare a recommendation on the development of exposure guidelines or a statement on safety", w skład której wchodzi: **Polska**, USA, Japonia, Niemcy, Norwegia, Szwajcaria i Wielka Brytania

Validity of the 1984 Interim Guidelines on Airborne Ultrasound and Gaps in the Current Knowledge

Health Physics 127(2):p 326-347, August 2024

Wytyczne IRPA z 1984 r. opierały się na ograniczonych i obecnie przestarzałych danych naukowych. Większość tych efektów i mechanizmów pozostaje istotna z punktu widzenia zdrowia, jednak ostatnie doniesienia wskazują na niewystarczającą precyzję dozymetrii i progów narażenia w wytycznych z 1984 r. **Nie potwierdzono istnienia nowych mechanizmów biologicznych nieujętych w wytycznych IRPA.**

Zidentyfikowane luki badawcze

- Skutki słuchowe powyżej 10 kHz (audiometria wysokoczęstotliwościowa).
- Oddziaływania zdrowotne związane z narażeniem na ultradźwięki o niskiej intensywności.
- Standaryzacja technik pomiarowych.

ICNIRP na obecnym etapie nie dokonuje rewizji wytycznych, lecz rekomenduje przeprowadzenie nowych badań jako podstawy do aktualizacji dopuszczalnych poziomów ekspozycji.

ICNIRP Statement

Validity of the 1984 Interim Guidelines on Airborne Ultrasound and Gaps in the Current Knowledge

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Abstract—Airborne ultrasound is used for various purposes both in industrial and public settings, as well as being produced as a by-product by a range of sources. The International Radiation Protection Association (IRPA) published interim guidelines on limiting human exposure to airborne ultrasound in 1984, based on the limited scientific evidence that was available at that time. In order to investigate whether research since 1984 requires the development of revised exposure guidelines we considered (a) within the context of ultrasound exposure the relevance to health of the biological endpoints/mechanisms listed in the IRPA guidelines, (b) the validity of the exposure limits, and (c) whether there are biological endpoints/mechanisms not covered in the guidelines. The analysis of the available evidence showed that the biological endpoints that form the basis of the guidelines are relevant to health and the guidelines provide limits of exposure based on the evidence that was available at the time. However, the IRPA limits and their associated dosimetry were based on limited evidence, which may not be considered as scientifically substantiated. Further, there is no substantiated evidence of biological endpoints/mechanisms not covered by the IRPA guidelines. These two observations could mean that IRPA's limits are too low or too high. Research since the IRPA guidelines has made some improvements in the knowledge base, but there are still significant data gaps that need to be resolved before a formal revision of the guidelines can be made by ICNIRP, including research needs related to health outcomes and improved dosimetry. This statement makes a number of recommendations for future research on airborne ultrasound.
Health Phys. 127(2):326–347; 2024

Key words: ultrasound; general public exposure; occupational exposure; exposure guidelines

INTRODUCTION

ULTRASOUND CONSISTS of mechanical (acoustic) waves, historically characterized as frequencies above the upper human audible limit (ICNIRP 1985). This limit varies in the human population, and for people with normal hearing there is a steep rise in hearing threshold over the octave of 1020 kHz, with this rise less pronounced in children (Rodríguez-Valiente et al. 2014), some of whom can hear up to at least 28 kHz (Ueda et al. 2016; Ashihara et al. 2006). Ultrasound always requires at least one medium to propagate and is broadly categorized into ultrasound that travels in the air, termed airborne ultrasound, and ultrasound that travels in condensed media such as solids, liquids, and biological tissue (HPA 2010).

Duck and Leighton (2018) classified ultrasound into three bands:

- US(A), 17.8 to 500 kHz—In this band, acoustic cavitation (i.e., the generation of bubbles) and its associated forces form the dominant process resulting in biological effects in liquids and soft tissues, whereas health effects from airborne ultrasound have been reported but are far less researched;
- US(B), 500 kHz to 100 MHz—This band includes therapeutic and diagnostic biomedical applications, where the bioeffects are dominated by tissue heating; and
- US(C), above 100 MHz—In this band bioeffects are dominated by radiation forces.

The topic of this statement is the effect of airborne ultrasound in the US(A) range. There are currently no applications of airborne ultrasound that we know of in the US (B) and US(C) bands. These frequencies are strongly absorbed in air (Bass et al. 1990) suggesting sources would need to be close to the body to deliver high amplitudes to tissue. Consequently, the effects of US(B) and US(C) will

ICNIRP c/o BIS, Ingolstädter Landstr. 1, 85764, Oberschlesheim, Germany.

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) collaborators are listed in the Acknowledgement section.

For correspondence contact Gundel Ziegelberger, ICNIRP c/o BIS, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschlesheim, Germany, or email at info@icnirp.org.

(Manuscript accepted 4 December 2023)

0017-9078/24/0

Copyright © 2024 The Author(s). Published by Wolters Kluwer Health, Inc. on behalf of the Health Physics Society. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives License 4.0 (CC BY-NC-ND), where it is permissible to download and share the work, provided it is properly cited. The work cannot be changed in any way or used commercially without permission from the journal.

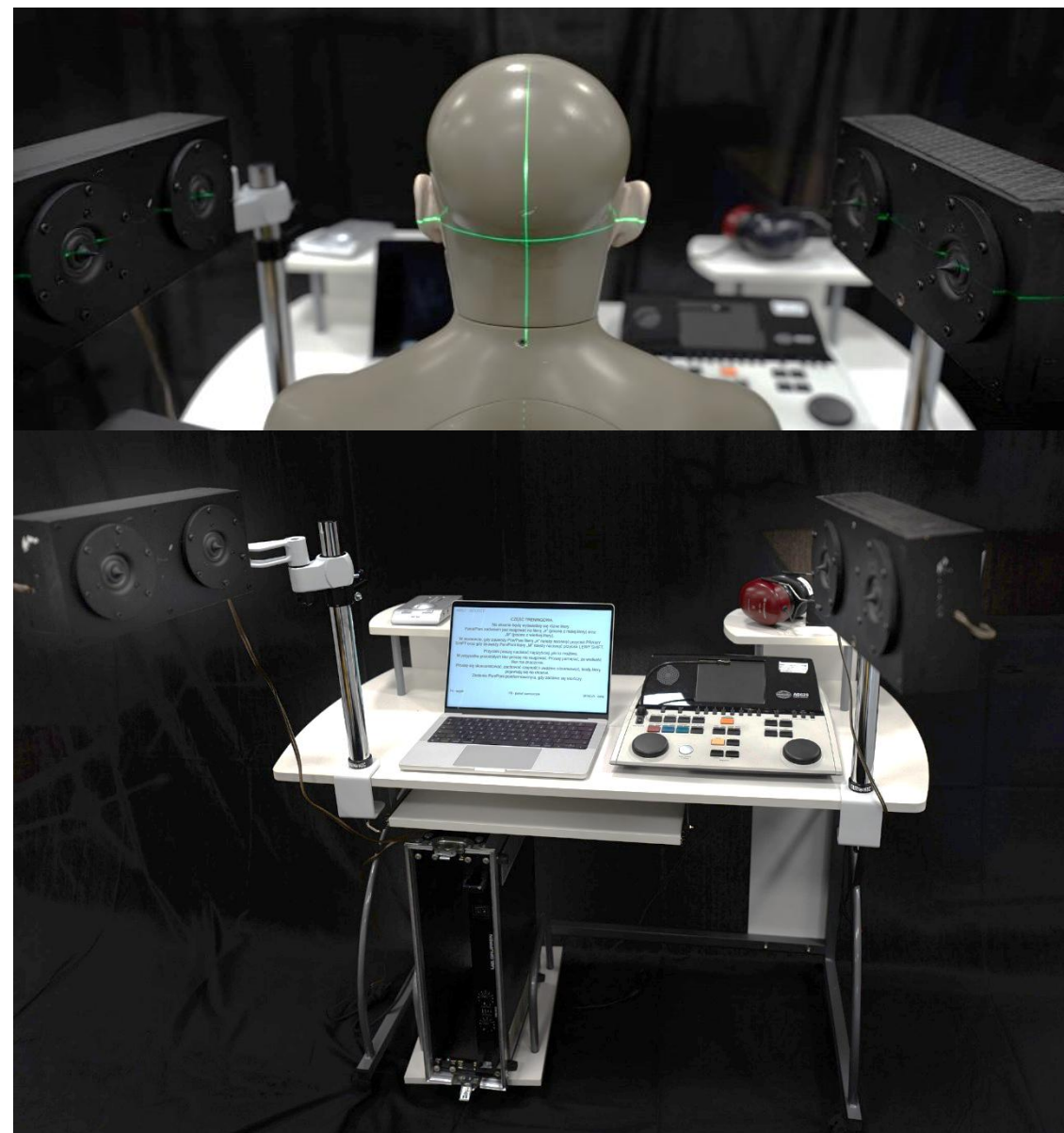
DOI: 10.1097/HP0000000000001800

326

www.health-physics.com

W badaniach laboratoryjnych dokonano **oceny wpływu hałasu ultradźwiękowego na narząd słuchu.**

- W badaniach wykorzystano najpowszechniej stosowaną metodę służącą do wyznaczenia progu słyszenia - **audiometrię tonalną** (PTA).
- Badano ekspozycję **o wartości równej dopuszczalnej** (NDN)
- Celem badań była ocena czasowych przesunięć **progów słyszenia (TTS)** na skutek ekspozycji na hałas ultradźwiękowy przy obniżonych poziomach ekspozycji na hałas ultradźwiękowy względem badań przeprowadzonych w pierwszym etapie zadania.
- **Progi słyszenia wyznaczano dwukrotnie** – przed ekspozycją i po ekspozycji. Poziomy próg słyszenia wyznaczano w ograniczonym zakresie standardowym od 1 do 8 kHz oraz w zakresie rozszerzonym od 9 do 16 kHz.
- W doborze próby w przeprowadzonych badaniach pilotażowych wykorzystano **metodę doboru nielosowego** - strukturę próby sformowano w sposób arbitralny.



Dwa rodzaje ekspozycji ultradźwiękowych wykorzystanych w badaniach

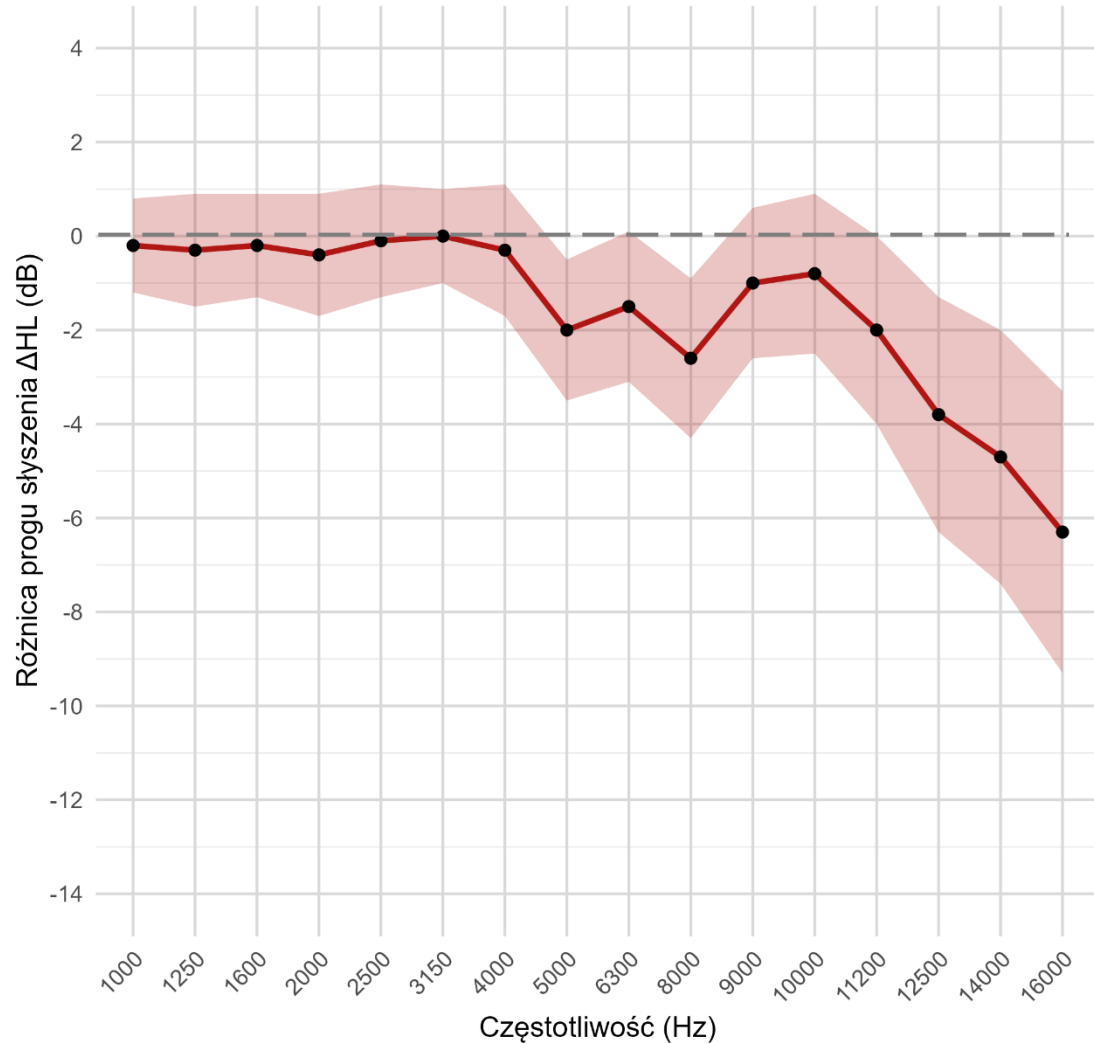


— Myjka ultradźwiękowa

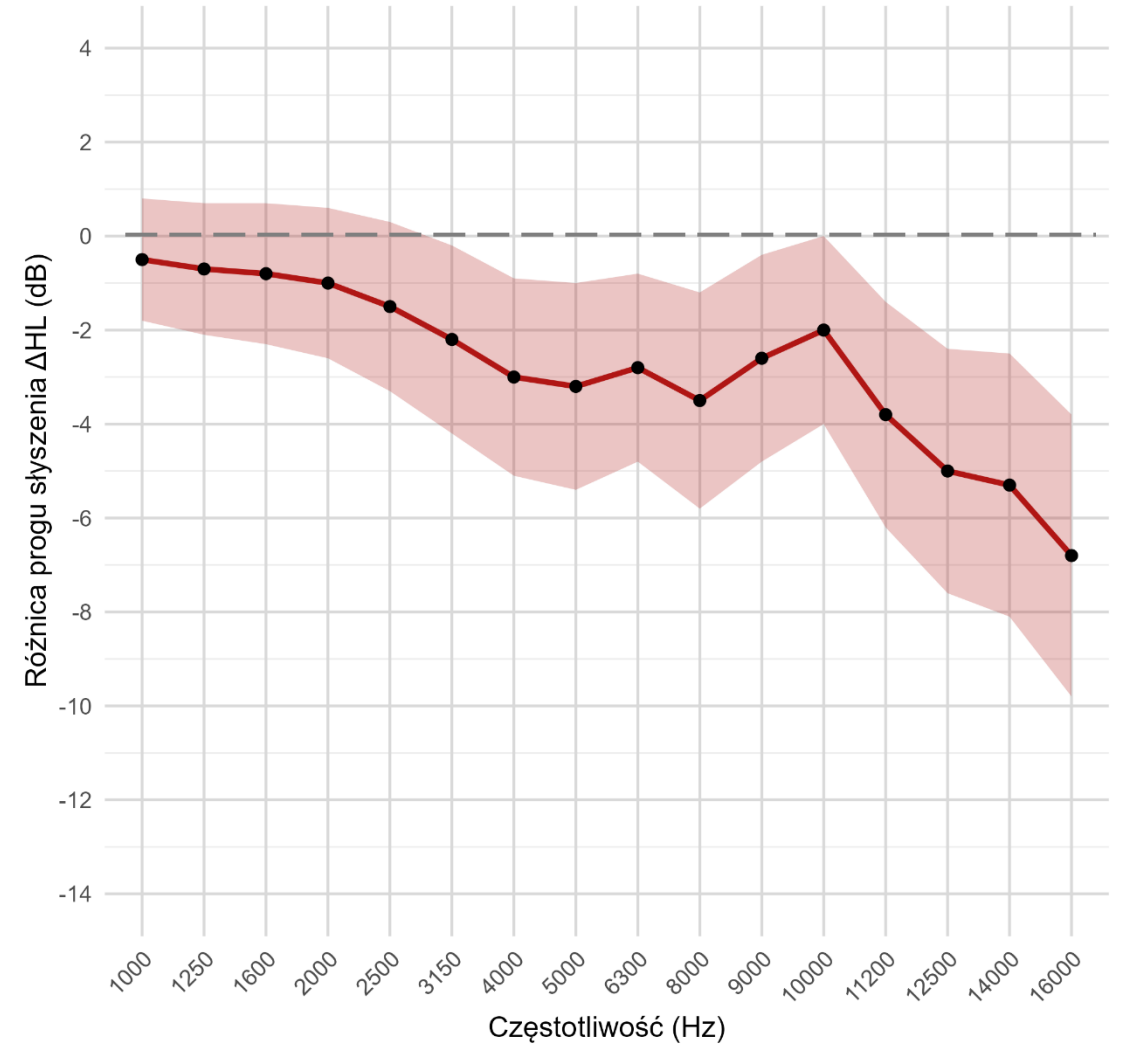
— Zgrzewarka ultradźwiękowa

Różnica progu słyszenia Δ HL przed i po ekspozycji (dopuszczalnej) na ultradźwięki pochodzące od **MYJKI ULTRADŹWIĘKOWEJ**

Myjka ultradźwiękowa – Ucho lewe

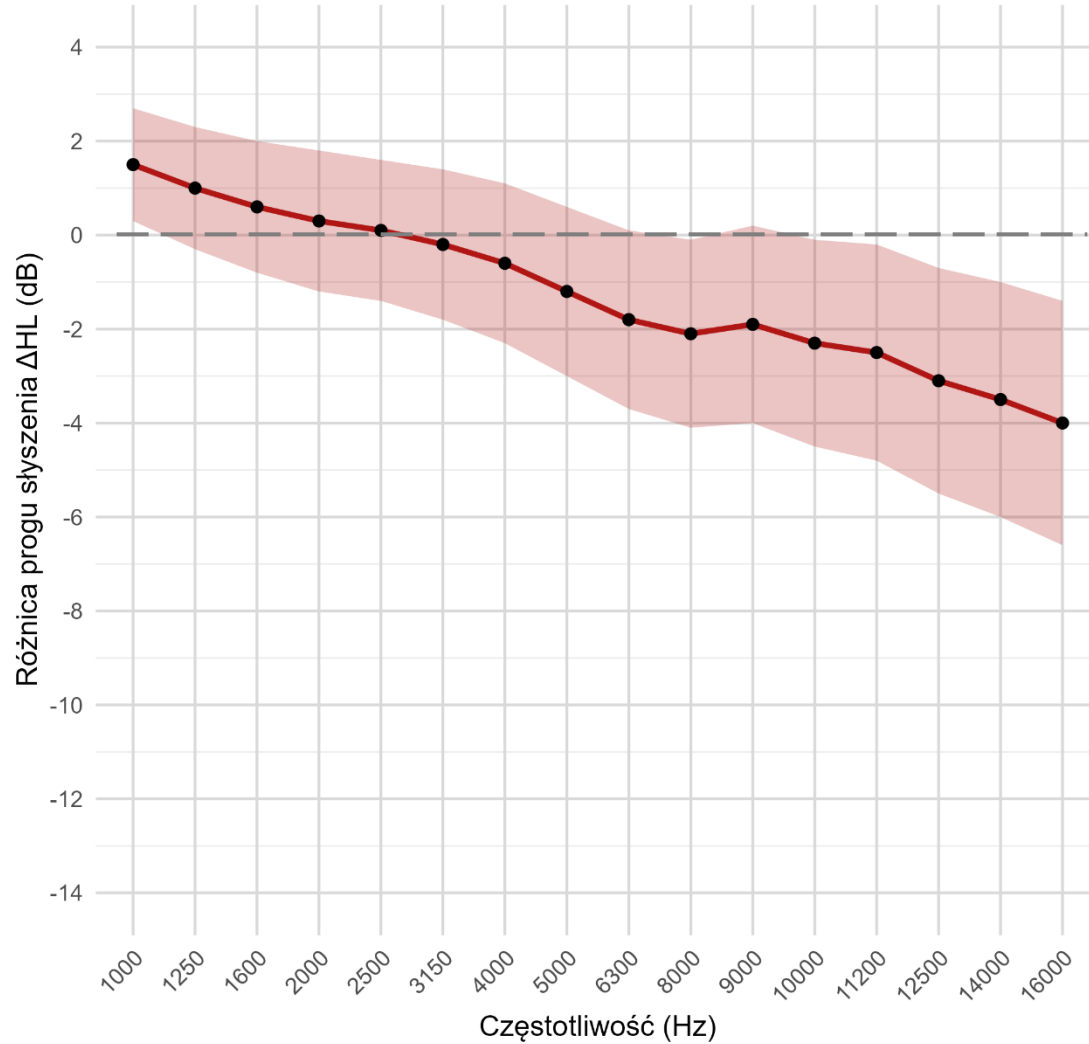


Myjka ultradźwiękowa – Ucho prawe

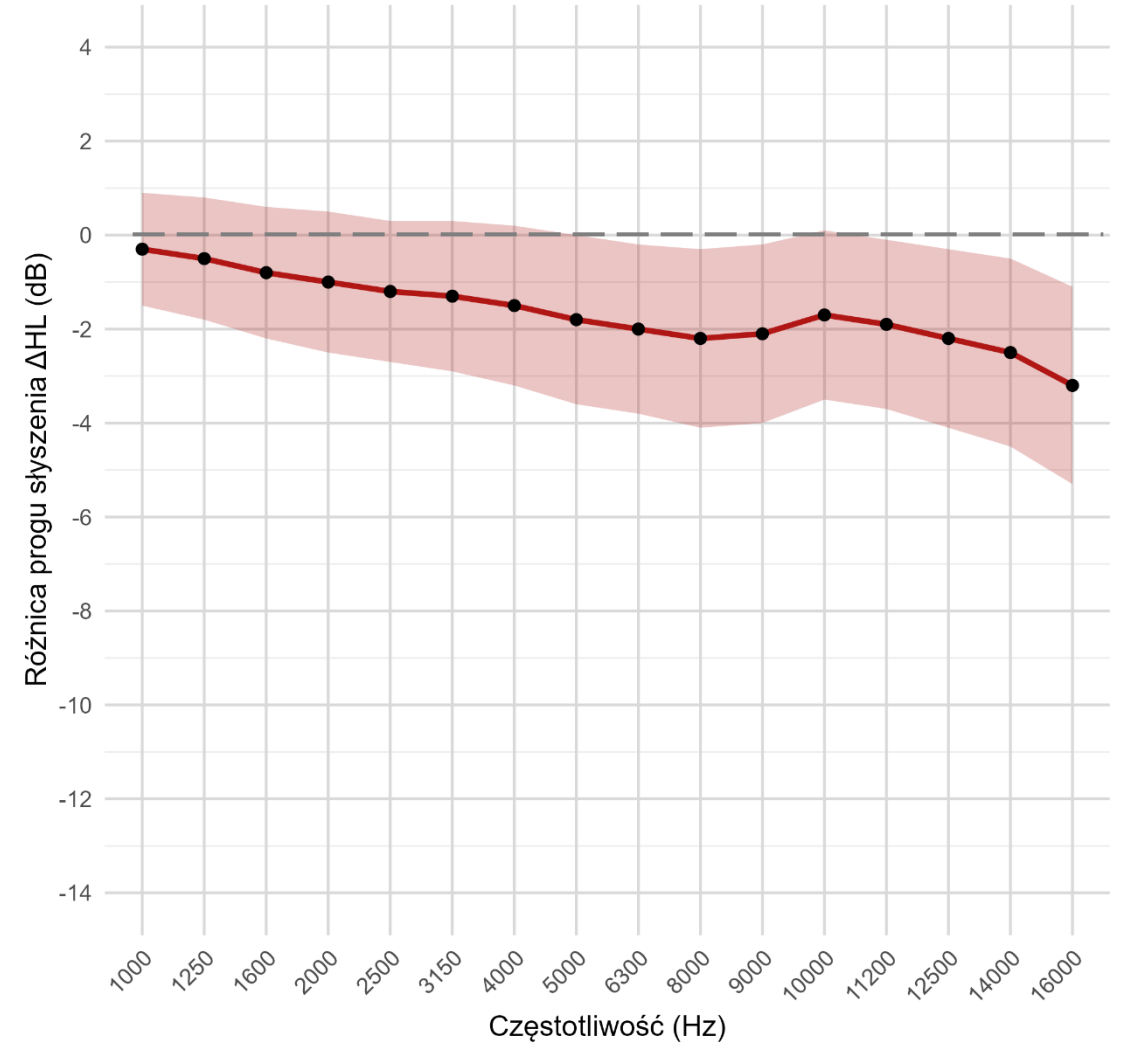


Różnica progu słyszenia Δ HL przed i po ekspozycji (dopuszczalnej) na ultradźwięki pochodzące od **ZGRZEWARKI ULTRADŹWIĘKOWEJ**

Zgrzewarka ultradźwiękowa – Ucho lewe

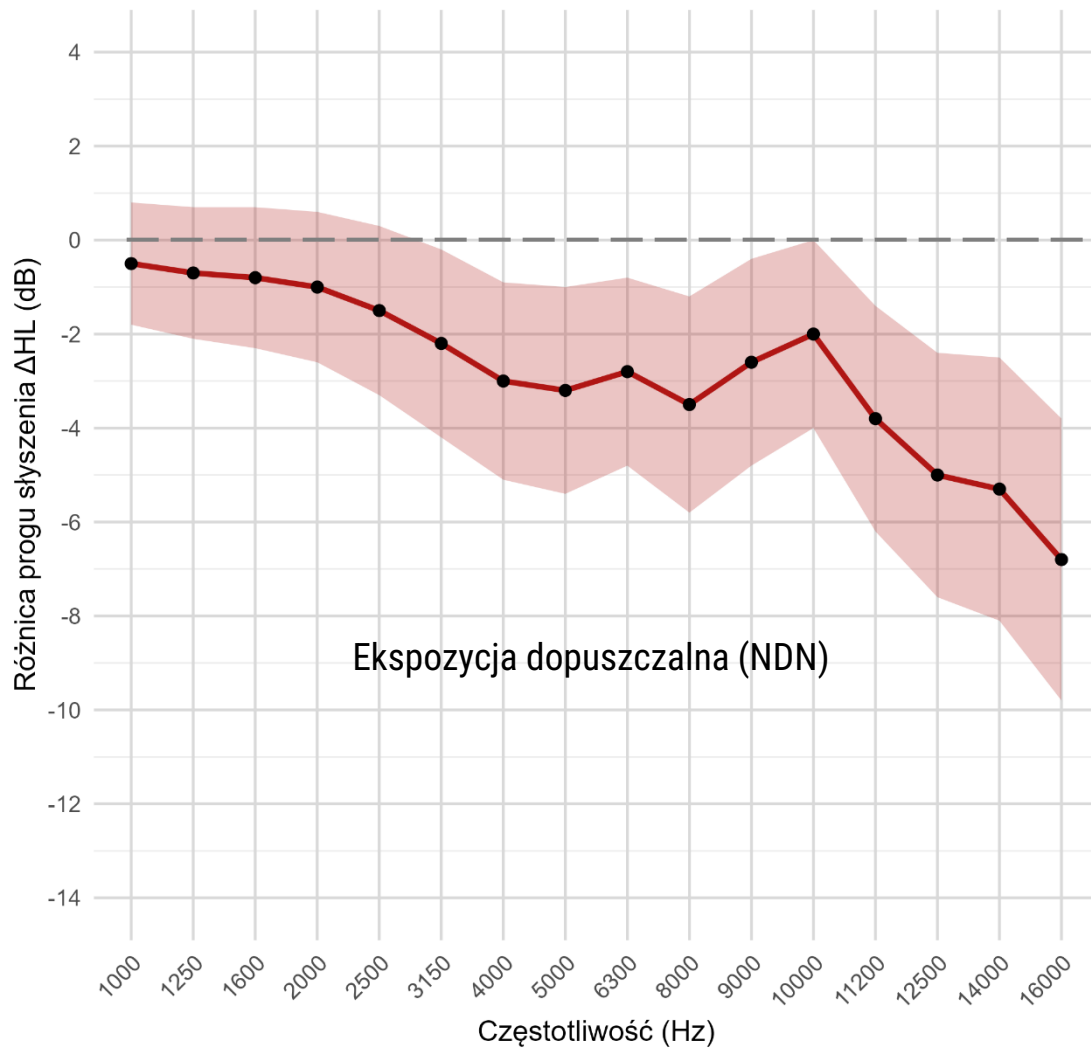


Zgrzewarka ultradźwiękowa – Ucho prawe

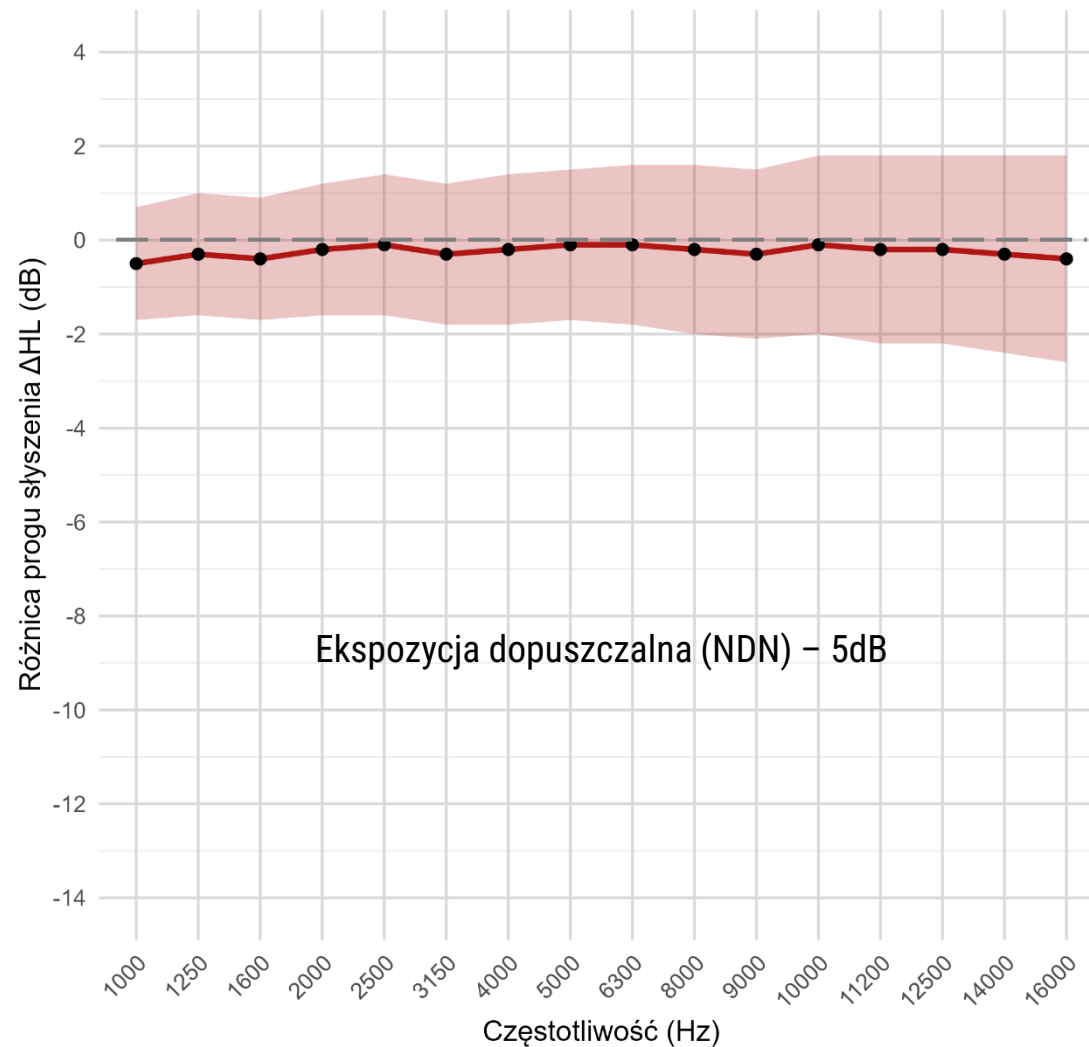


Różnica progu słyszenia Δ HL dla różnych ekspozycji (-5dB) na ultradźwięki pochodzące od **MYJKI ULTRADŹWIĘKOWEJ**

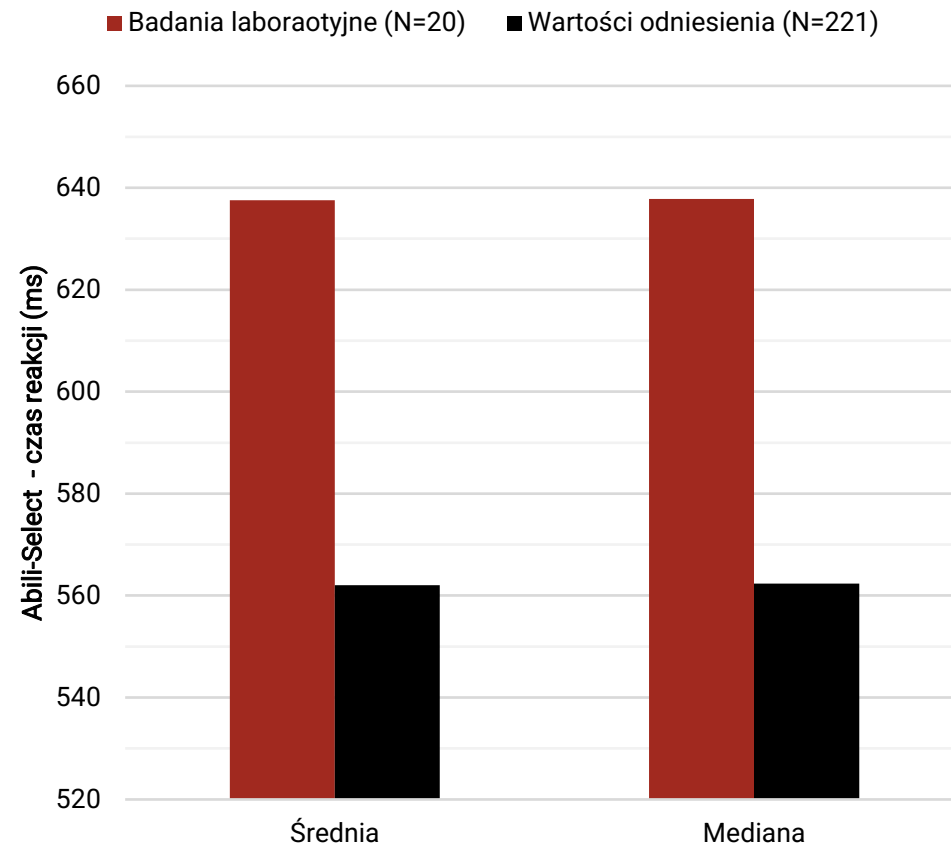
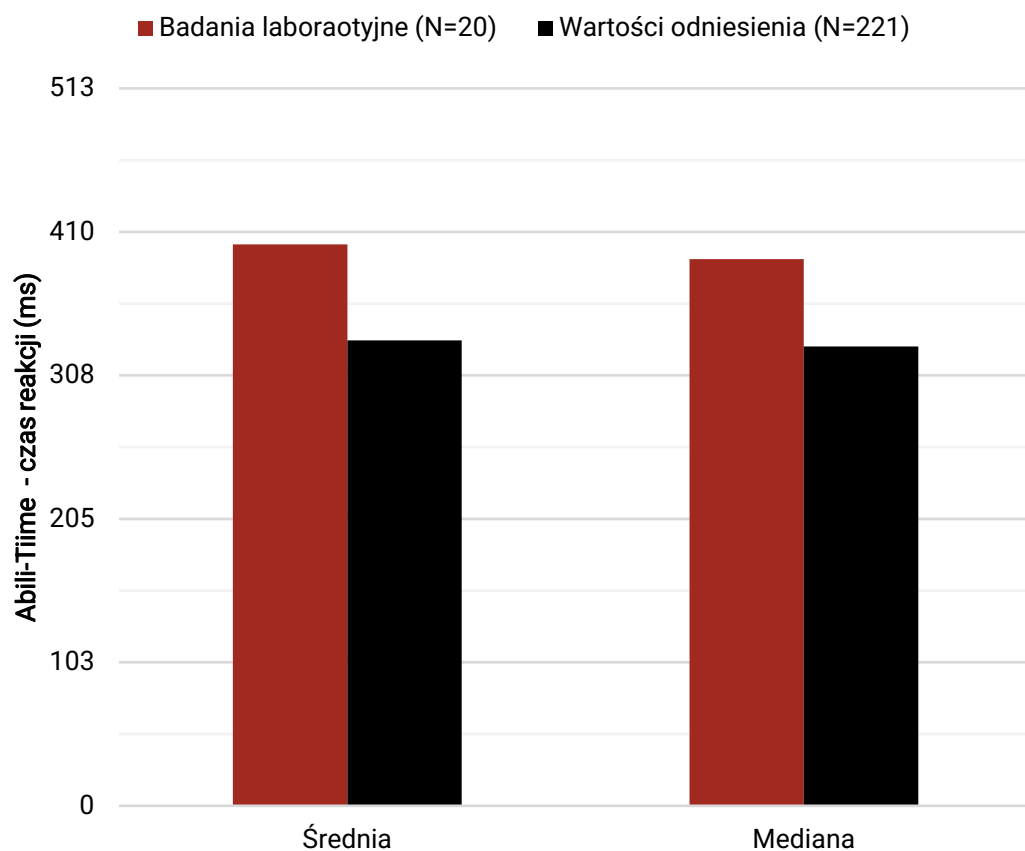
Myjka ultradźwiękowa – Ucho prawe



Myjka ultradźwiękowa – Ucho prawe



Wyniki testów psychologicznych oceniających wydajność pracy



W odniesieniu do stenów opracowanych CIOP-PIB można odnotować, że wartości czasów reakcji podczas ekspozycji na hałas ultradźwiękowy miały obniżone wyniki (dłuższe czasy reakcji) względem normy

BADANIA ANKIETOWE



N=204

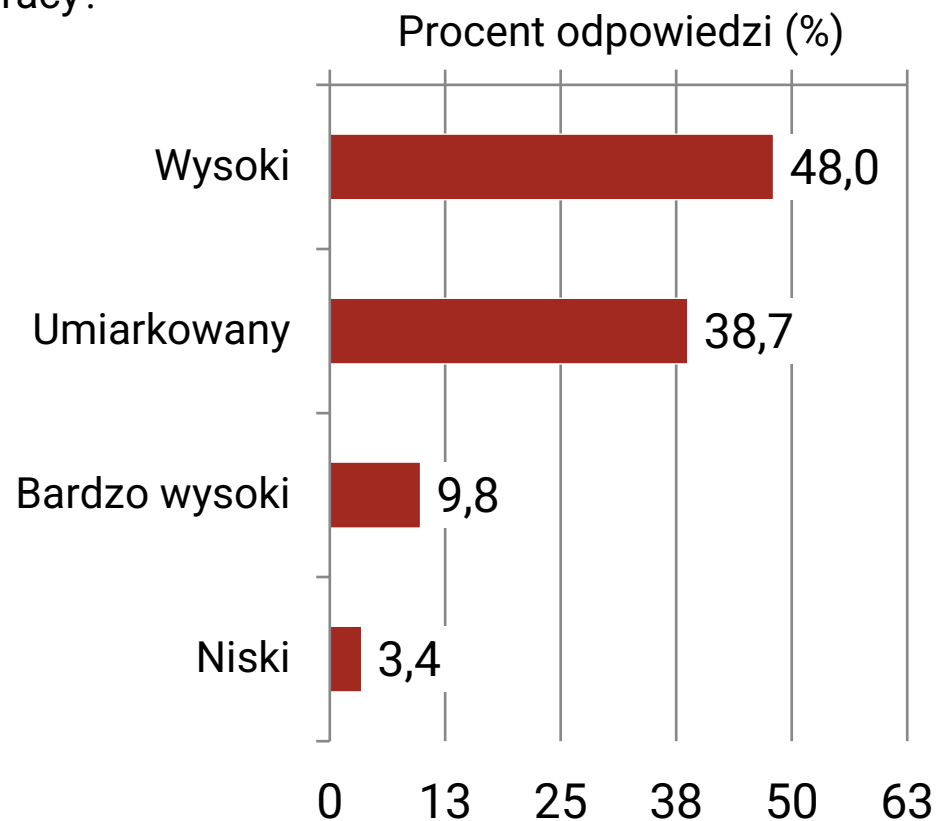
Mixed Mode Design - Procedura ta polega na uzyskiwaniu tych samych informacji (na podstawie tego samego kwestionariusza ankiety) od różnych osób, przy wykorzystaniu odmiennych technik badawczych.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano trzy techniki zbierania danych: CAWI, CATI oraz CAPI

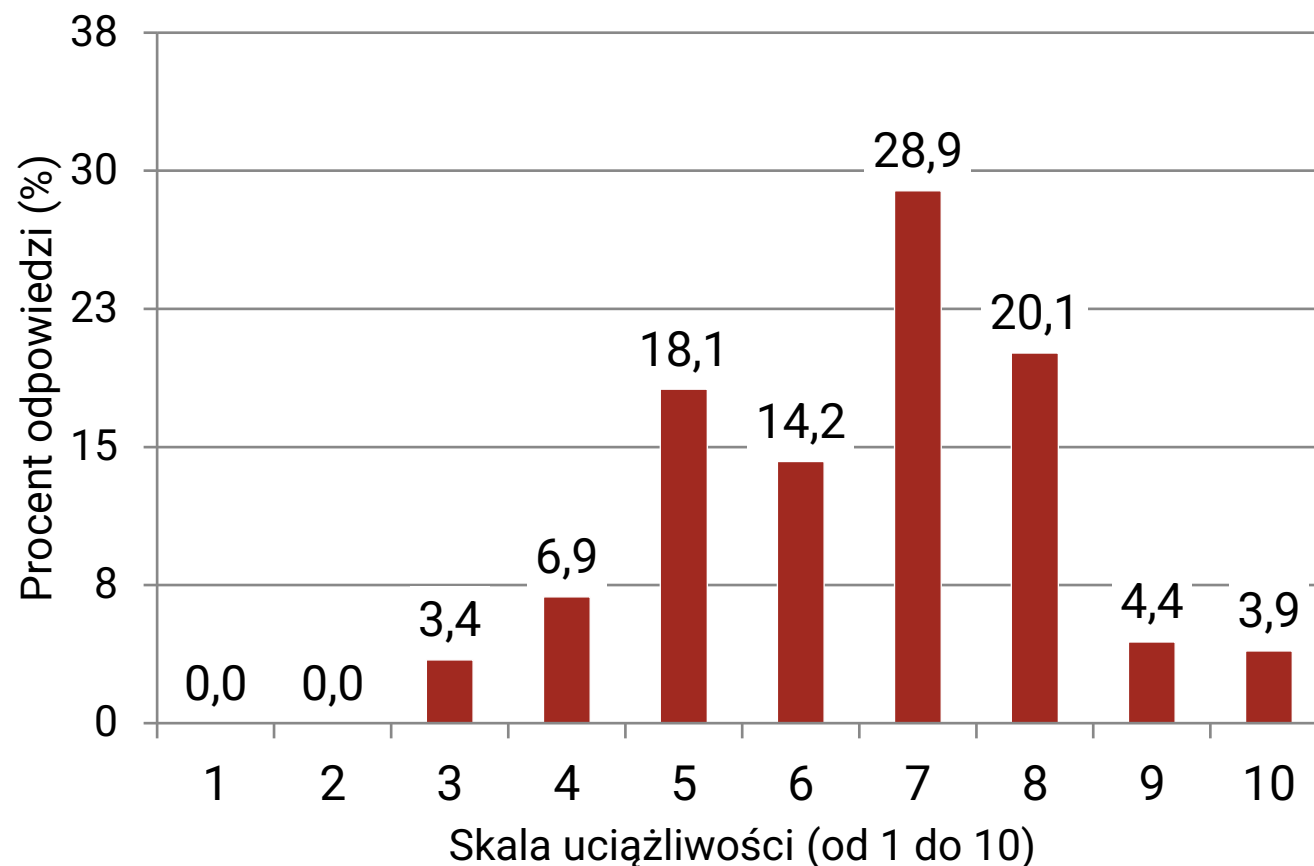
	N	%
Kobieta	70	34,3%
Mężczyzna	134	65,7%
Suma	204	100,00%
Wiek	N	%
poniżej 20 lat	5	2,5%
20-29 lat	66	32,4%
30-39 lat	76	37,3%
40-49 lat	45	22,1%
50-59 lat	9	4,4%
powyżej 60 lat	3	1,5%
Branża	N	%
Produkcja	180	88,2%
Budownictwo	10	4,9%
Transport	6	2,9%
Gastronomia	5	2,5%
Inna (proszę podać jaka):	3	1,5%
Źródło hałasu ultradźwiękowego obsługujesz w pracy	N	%
Zgrzewarka ultradźwiękowa	79	38,7%
Myjka ultradźwiękowa	73	35,8%
Drażarka ultradźwiękowa	51	25,0%
Gilotyny lub noże ultradźwiękowe	32	15,7%
Inne (proszę podać jakie):	2	1,0%

BADANIA ANKIETOWE

Jak oceniasz poziom hałasu ultradźwiękowego w swoim miejscu pracy?



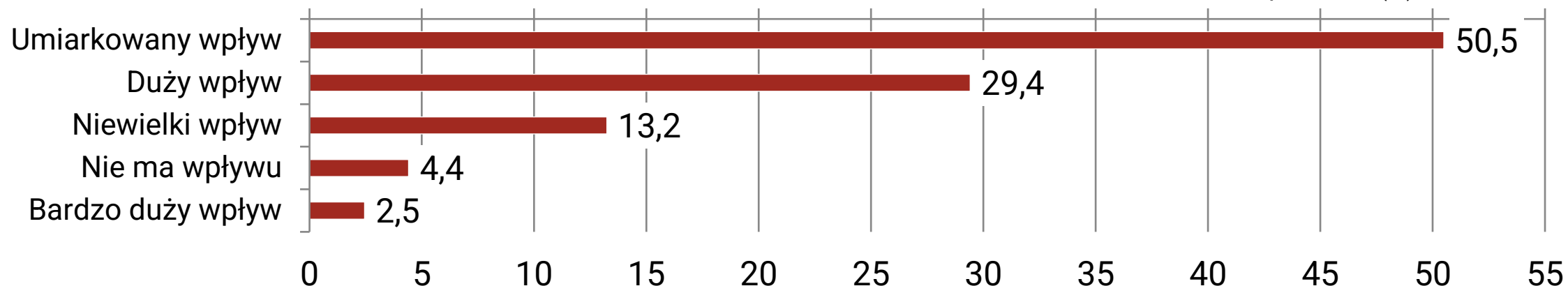
Jak silnie uciążliwy dla Pana/Pani jest hałas występujący na stanowisku pracy?



BADANIA ANKIETOWE

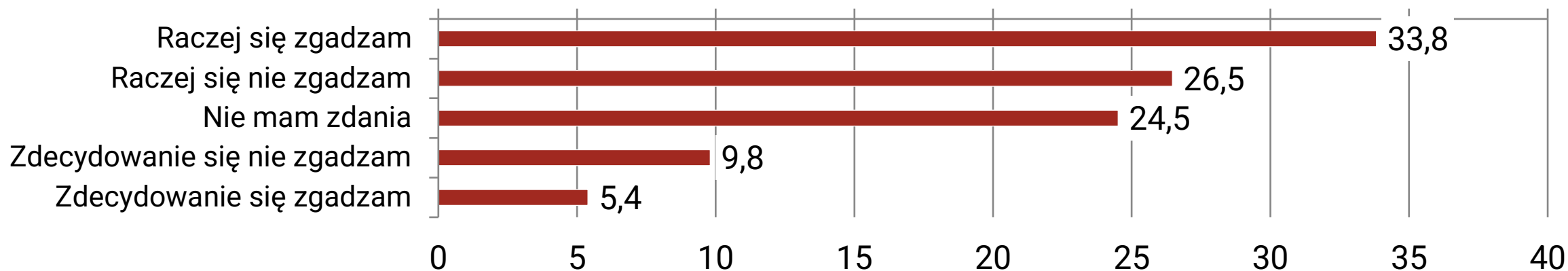
Jak oceniasz wpływ hałasu ultradźwiękowego na swoje zdrowie?

Procent odpowiedzi (%)



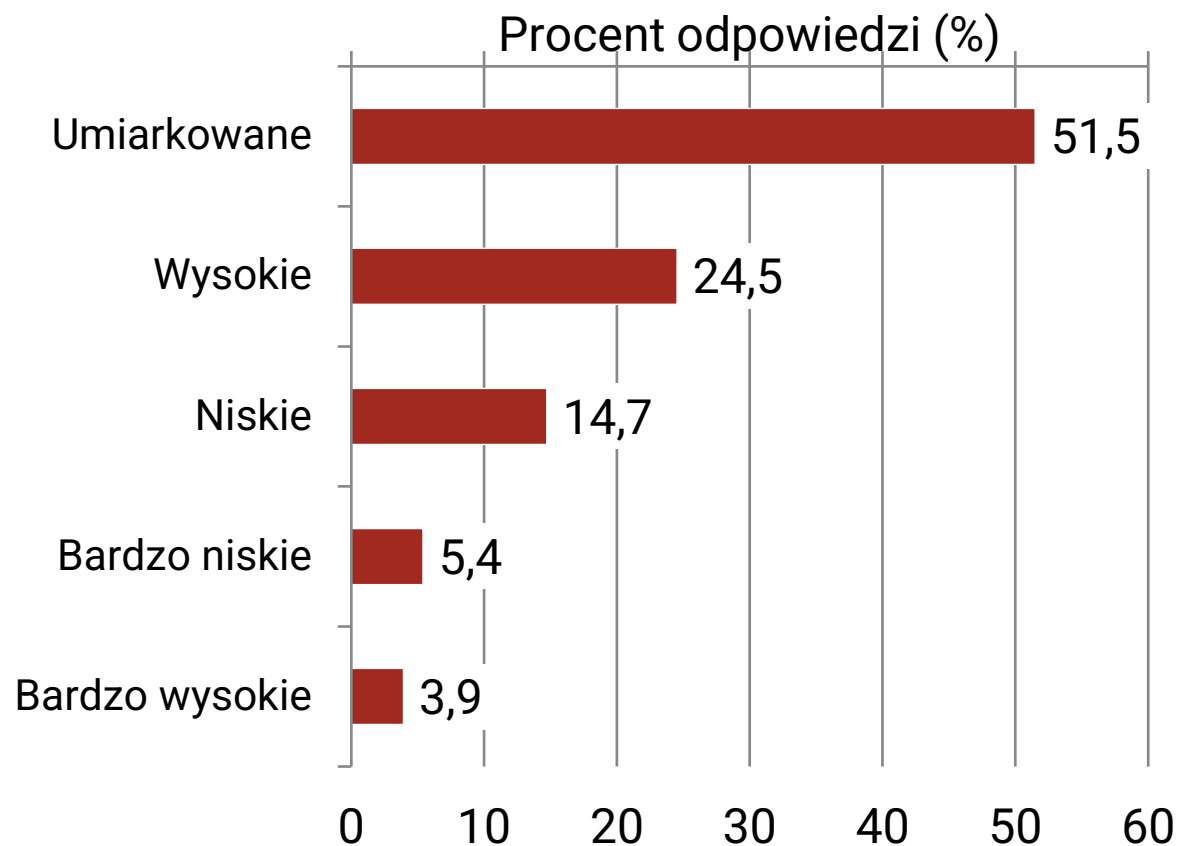
Odczuwam problemy ze wzrokiem (np. rozmycie obrazu, zmęczenie oczu) po dłuższej ekspozycji na hałas ultradźwiękowy w miejscu pracy

Procent odpowiedzi (%)

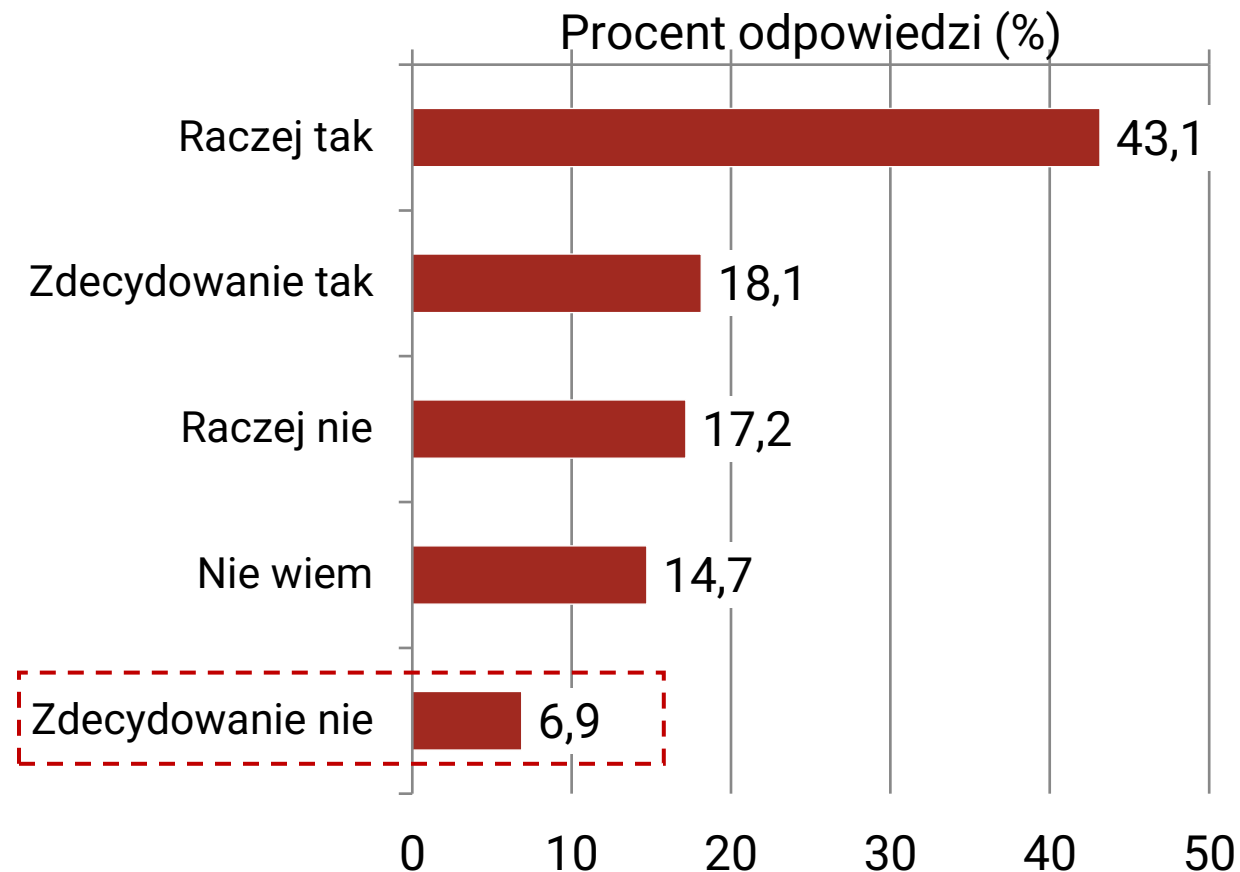


BADANIA ANKIETOWE

Jak oceniasz ryzyko dla swojego zdrowia związane z hałasem ultradźwiękowym w Twoim miejscu pracy?

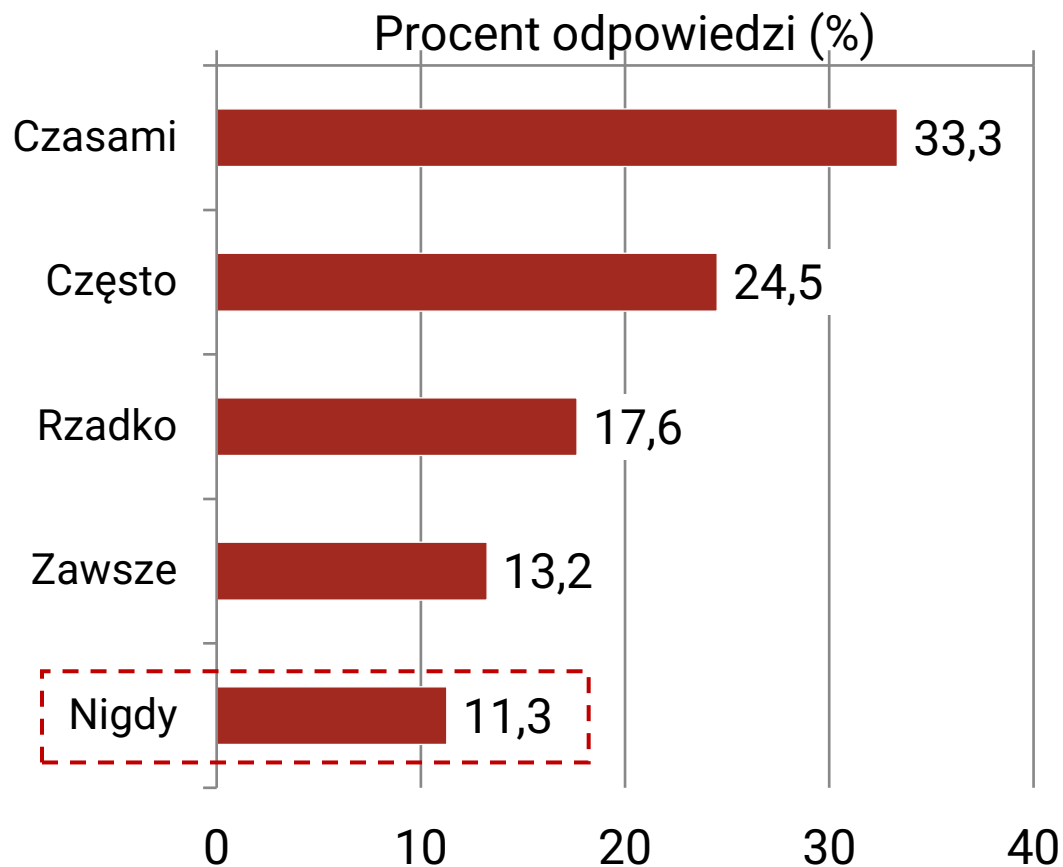


Czy uważasz, że Twój zakład pracy wystarczająco dba o ochronę przed hałasem ultradźwiękowym?

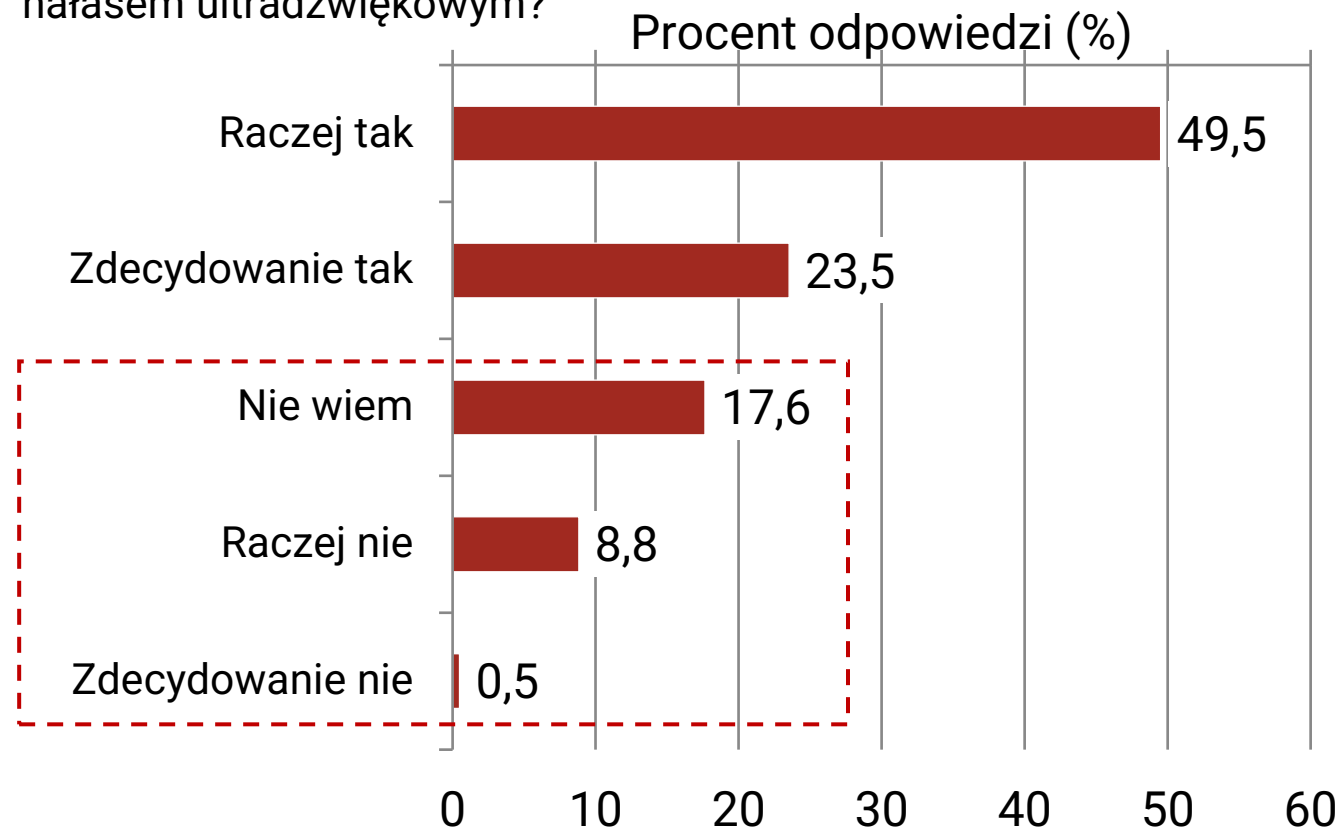


BADANIA ANKIETOWE

Jak często nosisz środki ochrony słuchu w pracy?



Czy uważasz, że stosowanie środków ochrony słuchu może zapobiec problemom zdrowotnym związanym z hałasem ultradźwiękowym?



PODSUMOWANIE

1 Wyniki badań laboratoryjnych wskazują, że hałas ultradźwiękowy w miejscu pracy stanowi **realne zagrożenie dla zdrowia** i samopoczucia pracowników.

2 Wyniki badań wskazują na konieczność **rewizji dopuszczalnych limitów narażenia zawodowego** w celu zmniejszenia potencjalnych zagrożeń zdrowotnych związanych z hałasem ultradźwiękowym.

3 Subiektywne oceny uciążliwości hałasu, wraz z licznymi zgłaszanymi objawami zdrowotnymi, wskazują na **konieczność podejmowania działań profilaktycznych**.

4 W szczególności należy zwrócić uwagę na **potrzebę edukacji pracowników** oraz pracodawców w zakresie ryzyka związanego z hałasem ultradźwiękowym.

Mając na uwadze wyniki dotychczasowych badań i analiz własnych, doniesienia literatury przedmiotu oraz uwzględniając możliwości techniczne realizacji pomiarów proponuje się:

- **zmianę dotychczasowych wartości dopuszczalnych, ze względu na ochronę zdrowia (NDN) (pasmo 1/3 oktawowo o częstotliwości środkowej 20 kHz);**
- **wprowadzenie progów działania analogicznie do zakresu słyszalnego (Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne)**
- *utrzymanie jako podstawy oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego odniesionych do 8-godzinnej pracy lub tygodnia pracy i maksymalnych poziomów ciśnienia akustycznego, określonych w pasmach tercjowych (10-40 kHz);*
- *utrzymanie metody oceny narażenia na hałas ultradźwiękowy zgodnie z PN-Z-01339:2020;*
- *zmianę przepisów dotyczących profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami – rozszerzenie zakresu audiometrii tonalnej o zakres 8-16 kHz.*
- *utrzymanie wartości dopuszczalnych dla grup szczególnego ryzyka*

Propozycja nowych wartości NDN i progów działania dla hałasu ultradźwiękowego

Częstotliwość środkowa pasma 1/3-okt. (kHz)	Dotychczasowy NDN ($L_{f,eq,8h}$, dB)	Nowy NDN ($L_{f,eq,8h}$, dB)	Dotychczasowy NDN ($L_{f,max}$, dB)	Nowy NDN ($L_{f,max}$, dB)	Próg działania ($L_{f,eq,8h}$ dB)
10; 12,5; 16	80	80	100	100	77
20	90	85	110	105	82
25	105	105	125	125	102
31,5; 40	110	110	130	130	107

Wyniki ostatnich doniesień naukowych wskazują, że 20 kHz to pasmo o największym ryzyku przekroczeń NDN i oddziaływań słuchowych.

Ekspozycja na granicy wartości NDN powodowała istotne przesunięcia progów słyszenia (TTS); obniżenie o 5 dB eliminowało ten efekt.

Zaobserwowano także pogorszenie czasu reakcji – dowód wpływu na funkcje psychomotoryczne.

W pomiarach na 233 stanowiskach pracy najwyższe poziomy (L_{eq} , L_{max}) występowały w pasmach 10–25 kHz, głównie przy 20 kHz (zgrzewarki ultradźwiękowe, maszyny do obróbki tkanin).

Badania audiometryczne operatorów wykazały gorsze progi słuchu (4–14 kHz) względem grup kontrolnych mimo podobnych poziomów dźwięku A-ważonego.

Dane potwierdzają, że obecne wartości NDN są niewystarczające dla ochrony słuchu – szczególnie dla tercji 20 kHz.

Warszawa, 26.06.2025 r

Dziękuję za uwagę

**Charakterystyka i ocena narażenia na hałas ultradźwiękowy w
środowisku pracy**

dr inż. Jan Radosz

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

jarad@ciop.pl