

Anna BŁASZCZYK

II Liceum Ogólnokształcące w Będzinie

Hałas w środowisku miejskim.

Aspekty pomiarowe, zdrowotne, kulturowe

Streszczenie. W środowisku miejskim zdrowie człowieka jest narażone na działanie szkodliwego czynnika cywilizacyjnego, jakim jest hałas. Treść pracy porusza zagadnienia związane ze sposobami powstawania, skutkami hałasu, a także z metodami pomiarowymi i rozwiązaniami zapobiegawczymi.

1. Wstęp

Jeśli mówimy o zanieczyszczeniu powietrza atmosferycznego, kojarzy nam się to z pyłem i gazami, czyli jego składem chemicznym. Tymczasem powietrze obciążone jest także hałasem. Poświęca mu się jednak znacznie mniej uwagi niż innym zatruciom. Spowodowane to jest tym, że skutki hałasu są trudniej wymierne i dlatego słabiej uświadamiane.

Pojęcie hałasu nie jest jednoznacznie sprecyzowane i pokrywa się częściowo z takimi pojęciami, jak dźwięk i wibracje. Hałasem nazywamy niepożądany dźwięk. Jest to więc pojęcie subiektywne, gdyż sprawca dźwięku może mieć odczucia przyjemne, które dla innych osób są przykre. Dźwięk można określić jako zmiany ciśnienia w powietrzu, wodzie i niektórych innych ośrodkach materialnych działające na zmysł słuchu. Wyróżnia się dźwięki słyszalne o częstotliwościach - orientacyjnie 16 - 16 000 Hz, przy czym górna granica obniża się z wiekiem i po przekroczeniu 60 lat spada do 5000 Hz. Drgania akustyczne poniżej tego

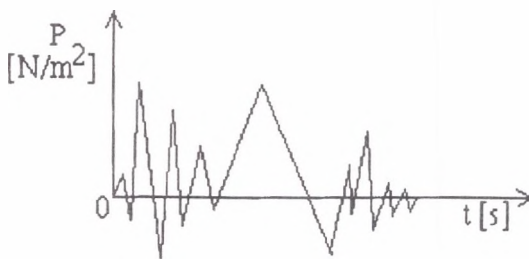
zakresu określa się nazwą *infradźwięki*, a powyżej *ultradźwięki*. Badania wykazały, że ucho ludzkie może znieść dźwięk o ciśnieniu ponad milion razy wyższym od wartości progowej. W tej pracy zajmę się problemem hałasu w życiu codziennym. Postaram się przybliżyć to zagadnienie, uświadomić, jakie wielkie stanowi ono zagrożenie.

2. Pojęcia ogólne

Dźwięk jest zjawiskiem falowym. Bezpośrednią przyczyną jego powstawania są drgania mechaniczne ośrodka sprężystego. Istnieją dwa sposoby wytwarzania fal akustycznych:

- a) za pomocą drgań mechanicznych,
- b) za pomocą turbulencji.

W pierwszym przypadku ruch cząsteczek ośrodka jest wywołany przez znajdujący się w nim dowolny element drgający. W drugim przypadku drgania ośrodka spowodowane są zaburzeniami przepływającego strumienia gazu lub cieczy, tworzeniem się wirów (rys 1).



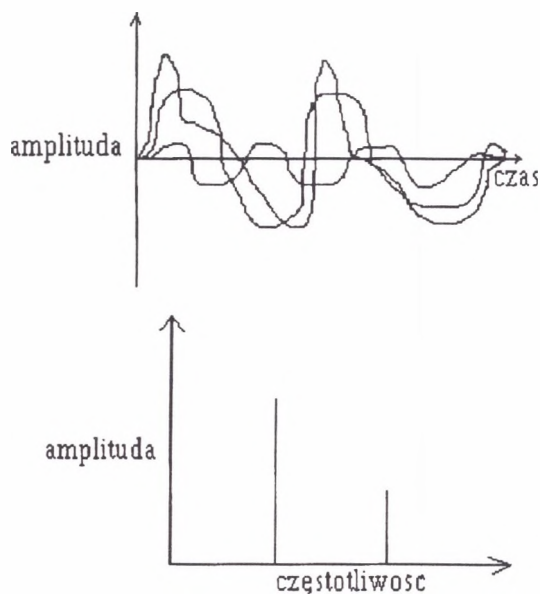
Rys. 1. Przebieg zmian ciśnienia akustycznego w ośrodku

Rozchodzenie się fal w powietrzu można porównać z rozchodzeniem się fal w wodzie. Fale rozchodzą się jednakowo w wszystkich kierunkach, przy czym w miarę oddalania się od źródła amplituda ich zmniejsza się. Ponieważ fala dźwiękowa w powietrzu jest falą zagęszczeń ośrodka, to kierunek rozchodzenia się tych fal jest podłużny, w przeciwieństwie do fal powietrznych, w których kierunek drgań jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali. Do fal poprzecznych zlicza się między innymi fale występujące w strunach instrumentów

muzycznych. Liczba zmian ciśnienia w ciągu sekundy nazywana jest częstotliwością dźwięku i jest mierzona, zgodnie z międzynarodowymi normami - w Hz (here). Większości z nas znana jest metoda określania odległości, w której nastąpiło uderzenie pioruna: policzenie do trzech sekund wyznacza w tej metodzie mniej więcej kilometr, co odpowiada prędkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu mniej więcej 340 km/s.

Znając prędkość rozchodzenia się dźwięku i jego częstotliwość łatwo można znaleźć długość fali w powietrzu, odległość między dwoma kolejnymi jej wierzchołkami. Długość fali wyznacza się ze stosunku prędkości do częstotliwości (długość = prędkość / częstotliwość). I tak na przykład długość fali przy częstotliwości 20 Hz wynosi 17 m, natomiast przy częstotliwości 20 000 Hz, czyli 20 kHz, jedynie 1,7 cm. Dźwięk można dzielić biorąc pod uwagę różne jego cechy. Pierwszy podział, to podział na dźwięki ciągłe i impulsywne. Te ostatnie mogą powstawać np. jako rezultat strzału lub uderzenia młotkiem w skałę. Tego rodzaju zjawiskom towarzyszy zwykle pobudzenie do drgań przedmiotów wytwarzających dźwięk (lufy, młotka). Drgania te są na ogół silnie tłumione, także pojedynczym zaburzeniom towarzyszą szybko znikające oscylacje. Inny podział, to podział na dźwięki okresowe i nieokresowe.

Przykładem dźwięków okresowych są dźwięki wytwarzane przez instrumenty muzyczne. Dźwięki nieokresowe są na ogół nieprzyjemne dla ucha, ich przykładem mogą być szумы powstające we wzmacniaczu elektronicznym ustawionym na duże wzmocnienie, a nie podłączonym do źródła sygnałów takich jak radio, magnetofon lub dysk optyczny. Szумы i trzaski, które będziemy słyszeli w każdym przedziale czasu, są niepodobne do siebie, każda grupa dźwięków jest inna. Zdefiniujmy najpierw ton. Tonem nazywamy dźwięk o jednej tylko częstotliwości, którego rozchodzenie opisane jest przez krzywą sinusoidalną. Ta sinusoidalna zmiana odnosi się do zmiany ciśnienia powietrza. Może być ona opisana jako czasowa zmiana ciśnienia w danym punkcie przestrzeni lub rozkład ciśnienia w danej chwili. Miarą natężenia dźwięku są zmiany ciśnienia atmosferycznego, związane z rozchodzeniem się zaburzenia. Często używa się nawet określenia ciśnienie akustyczne. Rozumie się przez to średnią wartość ciśnienia z pewnego przedziału czasu. Dla dźwięków okresowych mierzy się zwykle wartość skuteczną.

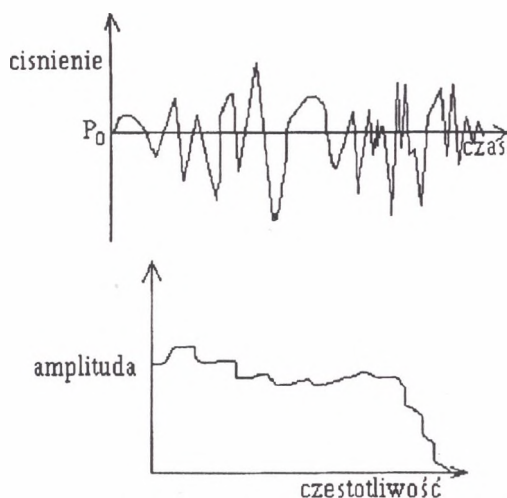


Rys. 2. Fala głosowa będąca nałożeniem (superpozycja) fal o stosunku częstotliwości 1/2

Dla dźwięku prostego na wykresie będzie tylko jedna linia. Bardziej skomplikowane są dźwięki złożone z dwóch lub więcej tonów. Na wykresie częstotliwości dźwiękom takim będzie odpowiadać dwie linie lub więcej (rys. 2). Jeszcze bardziej skomplikowane dźwięki, takie jak szum, składają się z ogromnej liczby drgań prostych, a odpowiadający im wykres rozkładu amplitud jako funkcja częstotliwości będzie linią ciągłą (rys 3).

Metodę, która pozwala przejść od rozkładu rzeczywistych zaburzeń ciśnienia w ośrodku do rozkładu amplitud dźwięków jako funkcji częstotliwości nazywamy analizą fourierowską, od nazwiska francuskiego matematyka i fizyka Fouriera. Rzeczywiste źródła dźwięku nie są na ogół źródłami dźwięków prostych. Nawet źródła dźwięków okresowych emitują dźwięki, których częstotliwości są wielokrotnościami pewnego dźwięku podstawowego - nazywamy je harmonicznymi. Jeśli dźwięk podstawowy ma częstotliwość ν_0 to tony harmoniczne będą miały częstotliwości równe $2\nu_0$, $3\nu_0$ itd. Dźwięki wytwarzane przez instrumenty muzyczne różnią się między sobą właśnie zawartością różnych tonów harmonicznymi, stwarzając przez to specyficzną dla każdego instrumentu barwę dźwięku. Dla prostych układów drgających, takich jak np. struna, tony harmoniczne mają prostą interpretację. Struna drga w ten sposób,

ze w spoczynku muszą pozostać punkty jej zamocowania, a wielokrotność połowy długości fali musi być równa długości struny. Częstotliwość drgań struny zależy od jej długości, gęstości liniowej (grubości) i napięcia.



Rys. 3. Drganie nieokresowe, czyli szum

Tabela 1

Średnie ciśnienie akustyczne oraz moce akustyczne niektórych instrumentów muzycznych (wartości średnie za okres 15 s)

Instrument	Odległość [m]	Śred. ciś. akust. [10 N/m^2]	Całkow. moc max. [W]	Pasma o mocy max.	
				pasmo [Hz]	moc [W]
Fortepian	3	2,6	0,267	250 - 500	0,267
Organy	3,5	2,1	12,6	20 - 63	25 - 10
Kocioł	1	66	-	-	-
Saksofon (bas)	1,1	4,1	0,288	250 - 500	0,288
Trąbka	1	8,6	0,314	250 - 500	0,047
Klarnet	1	3,5	0,05	250 - 500	0,0055
Talerze	1	18	9,5	8000 - 11300	0,95
Puzon	1	6,5	6,4	500 - 700	0,064
Flet	1,1	1,6	0,014	700 - 1000	0,0045
Orkiestra (75 osób)	3	7,9	13,4	250 - 500	6,7

Tabela 2

Moduły sprężystości ośrodków i prędkości rozchodzenia się dźwięku

Materiał	Moduł sprężyst. [10 N/m ²]	Prędkość dźwięku [m/s]
Aluminium	7,1	4700
Stal	20	5940
Szkle	8,7	5190
Dąb	1,2	3300
Korek	0,006	500
Guma	0,5	70
Granit	9,8	3950
Żelbet	2,1	4000

Ciała stałe charakteryzują się nie tylko sprężystością objętości, ale i sprężystością postaci. W takich ciałach mogą rozchodzić się nie tylko fale podłużne, ale i poprzeczne. W tabeli 2 podane są prędkości rozchodzenia się dźwięków w różnych ośrodkach oraz moduły sprężystości tych ośrodków. Materiały o drobnych właściwościach sprężystych, takie jak metale, charakteryzują się dużymi prędkościami rozchodzenia się dźwięku i małym tłumieniem drgań (tabela 2). Dużym tłumieniem drgań odznaczają się materiały porowate lub włókniste i one przede wszystkim używane są jako materiały izolacyjne dla fal dźwiękowych (tabela 3).

Tabela 3

Charakterystyki akustyczne i mechaniczne ośrodków stałych (wg [35])

Ośrodek (materiały)	g/cm	E [dyn/cm x10]	Współcz. Poissona	Cl [m/s]	Ct [m/s]	Zf [g/cm ² xsx10]
Aluminium	2,7	7,1	0,37	4700	2260	4180
Cegła	1,8	2,5	-	3600	-	648
Dąb włókien	0,75	1,2	-	3800	-	285
Dąb	0,75	1,2	-	2800	-	210
Sosna włókien	0,6	0,6	-	4200	-	252
Sosna	0,6	0,6	-	2800	-	168
Jesion	0,7	1,0	-	4670	-	320
Guma miękka	0,95	0,5	-	70	-	6,2
Guma twarda	1,15	2,3	-	1570	-	1800
Żelazo	7,8	21	0,28	5850	3230	4560
Korek	0,25	0,006	-	500	-	12
Ołów	11,4	1,6	0,44	2160	700	2460
Papier	1,0	4,8	-	2200	-	220

cd. tabeli 3

Stal	7,8	20	0,27	5940	3090	4630
Szkło	2,5	8,7	0,22	5190	-	1300
Pleksyglas	1,18	0,53	0,35	2670	1120	315
Porystyrol	1,6	0,43	0,32	2350	1120	249
Granit	2,7	9,8	-	3950	-	1070
Żelbet	2,3	2,1	-	4000	-	920
Ebonit	1,2	-	-	2400	-	290
Tworzywo szt. na bazie fenol.	1,3	8,0	-	2500	-	320

Fale dźwiękowe, podobnie jak wszystkie fale, podlegają ugięciu, czyli dyfrakcji. Zjawisko to polega na tym, że fala dźwiękowa napotykając na swojej drodze przeszkodę staje się na krawędzi przeszkody źródłem fali kulistej. Fala kulista oddziałuje (interferuje) z falą niezaburzoną i za przeszkodą powstaje nowy kształt powierzchni fali. Wielkość omawianego efektu zależy silnie od stosunku długości fali dźwiękowej do rozmiarów przeszkody. Zjawisko ugięcia wyjaśnia, dlaczego dociera do nas dźwięk, wprawdzie osłabiony, również od źródła, które znajduje się w stosunku do nas za przeszkodą.

2. 1. Ultradźwięki

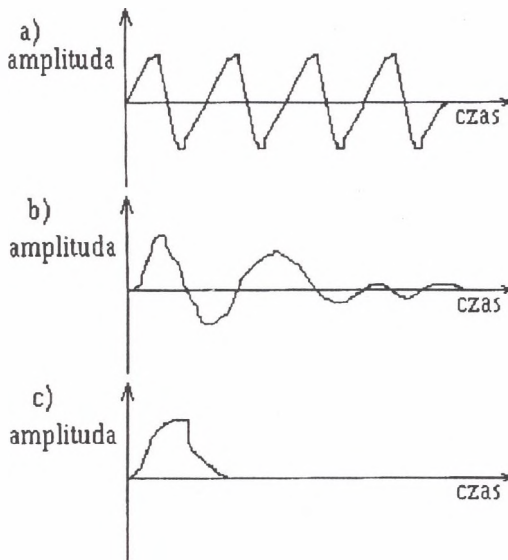
Ultradźwięki są coraz powszechniej stosowane w przemyśle, w wibracjach, myjniach, defektoskopach i innych tego rodzaju urządzeniach. Przeciętny członek społeczeństwa rzadko jest poddawany działaniu ultradźwięków. Ultradźwięki są obecnie powszechnie stosowane także w diagnostyce medycznej w ultrasonografiach. Częstotliwość stosowanych tam ultradźwięków jest bardzo wysoka, wynosi kilka MHz, co pozwala rozróżnić szczegóły o wymiarach dziesiątych części milimetra. Moc akustyczna emitowana przez stosowane w medycynie generatory jest rzędu miliwata. Przyjmuje się, że dopiero natężenia rzędu $0,4 \text{ W/cm}^2$ i większe wykazują szkodliwe działanie na tkankę żywą. Ultradźwięki są bardzo silnie pochłaniane w powietrzu.

2. 2. Wibracje

Do opisów własności dźwięków stosowany jest formalizm falowy. Fala jest, oczywiście, pewną formą energii wysyłaną przez układ drgający, który może być obserwowany przez inny układ, wymuszając jego drgania. Tak wymuszone drgania, zwykle o niskich częstotliwościach,

nazywamy wibracjami, przy czym zaliczamy do nich nie tylko drgania odpowiadające infradźwiękom, ale również drgania o częstotliwości wyższej, nawet do kilkunastu Hz. Zjawisko wymuszania drgań w organizmie przez docierające doń fale może być bardziej istotne, niż efekt akustyczny, który mogą one wywołać. Wyobraźmy sobie, że stoimy na pokładzie, który jest wprawiany w drgania. Aby opisać wpływ tych drgań na organizm, musimy znać kilka charakteryzujących je wielkości. Jedną z nich jest, oczywiście, częstotliwość drgań, przy czym może być ona taka mała, że możemy odczuwać poszczególne drgania. Interesować nas będzie także amplituda drgań i ewentualnie prędkość i przyspieszenie, z jakim porusza się przekazujący energię ośrodek, np. podłoga, na której stoimy. Wszystkie ciała, które nas otaczają, możemy rozpatrywać jako układy złożone z prostych, elementarnych, mogących drgać układów mechanicznych. Każde ciało jest w jakiś sposób powiązane z innymi ciałami, przez co następuje przekazywanie i rozproszenie energii, zanik drgań, czyli ich tłumienie (rys 4).

Z drugiej strony może następować obserwacja energii przez ośrodek w wyniku działania siły, która wymusza drgania układu. Dla małych amplitud drgań układ może być słabo tłumiony i łatwo jest wymusić jego drgania, a dla większych amplitud drgania mogą być silnie tłumione i rezonans jest gorszy. Zwykle mamy do czynienia z oboma czynnikami, tłumieniem jednych drgań i jednoczesnym wzbudzeniem innych. Pamiętajmy także, że drgania układów rzeczywistych mogą być jeszcze bardziej złożone, nie mieć charakteru drgań prostych, sinusoidalnych. Każdy ruch okresowy możemy jednak rozpatrywać jako kombinację ruchów prostych.



Rys. 4. Przykłady drgań. a) swobodnych, b) i c) tłumionych

3. Hałas w naszym domu

W literaturze najczęściej miejsca zajmują informacje o drganiach akustycznych wytwarzanych przez transport i przemysł.

Rozpatruje się natężenie, które powoduje trwałe uszkodzenia zdrowia, zwłaszcza w formie upośledzenia słuchu. Tych kwestii dotyczą przepisy uwzględniające powstawanie różnych chorób zawodowych spowodowanych hałasem. Mniej uwagi poświęca się hałasom powstającym w miejscach zamieszkania, wypoczynku, czy rekreacji. Oddziałują one również negatywnie na stan zdrowia, nawet jeśli ich natężenie nie jest wysokie. Pierwotne oddziaływanie ma charakter psychiczny, a dopiero wtórne charakter somatyczny, więc utrudnione jest ujęcie ilościowe i opracowanie norm przepisów. Ogranicza to możliwość interwencji, które mogą przybierać jedynie formę persfrazji wobec braku skutecznych sankcji. Zagadnienie sprowadza się więc do kultury osobistej i umiejętności współzycia w zbiorowościach. Hałas wynika często z nieświadomości sprawców, oraz zwykłej bezmyślności i dlatego pożądane jest

upowszechnianie wiedzy na temat mechanizmów przenoszenia się hałasów, jak i ich skutków zdrowotnych.

Zagadnienie nabiera szczególnego znaczenia ze względu na wadliwe pod względem akustycznym wykonanie budynków, a także napięcie nerwowe spowodowane trudnościami bytowymi wzmaganymi przez hałas. Rozwijanie inicjatyw dotyczących zwalczania hałasu napotyka znaczne trudności. Istnieje Liga do Walki z Hałasem mająca swoje agendy w różnych miastach, ale praktyczne możliwości działania są ograniczone. Sprawą hałasu mało interesują się organizacje ekologiczne, skupiające swą uwagę na zanieczyszczeniach. Pozostaje więc podejmowanie indywidualnych działań. Jak wynika z przygodnych sondaży, wielu ludzi narażonych jest na uciążliwy hałas w miejscu zamieszkania, ale są bezradni wobec bez troskich sąsiadów. Bezpośrednie interwencje zwykle prowadzą do zadrażnień, a administracje osiedli niechętnie podejmują się mediacji między sąsiadami. Trudno nawet skłonić je do opracowania regulaminu porządkowego, uwzględniającego sprawy hałasu.

Mało można liczyć na pomoc ze strony Rad Miejskich, które powinny opracować zlecenia porządkowe i przewidzieć sankcje za ich naruszanie. W wielu przypadkach wystarczyłoby pisemne upomnienie i napiętnowanie. Postulaty w tej sprawie pozostają jednak bez odpowiedzi. Nie znajdują one poparcia również ze strony prasy lokalnej.

Konieczne jest więc opracowanie skutecznej formy działań. Działalność taka powinna obejmować przede wszystkim:

- upowszechnienie znajomości negatywnych skutków hałasu,
- opracowanie ramowego regulaminu dobrych obyczajów, dotyczącego spraw związanych z powstawaniem hałasu w miejscach zamieszkania,
- organizowanie lokalnych grup nacisku (lobby) egzekwujących osiedlowe regulaminy i ich przestrzeganie poprzez stosowanie różnego rodzaju sankcji.

W odniesieniu do pierwszej kwestii trzeba zdawać sobie sprawę, że:

- wytwarzany hałas jest mniej uciążliwy dla jego sprawców niż dla osób postronnych,
- stopień uciążliwości hałasu zależy nie tylko od jego natężenia, ale także od charakteru,
- szczególnie uciążliwe są infradźwięki, gdyż przenoszą się na duże odległości ze względu na słabe tłumienia i silnie działają na organizm człowieka wskutek rezonansu,

- hałas powoduje wyczerpanie ogólne, bóle i zawroty głowy, rozdrażnienie, nerwice i niepokój, a dłuższe jego działanie wywołuje choroby układu krążenia, chorobę wrzodową, alergię i zmniejszenie ogólnej odporności, sprzyjające rozwojowi chorób nowotworowych.

Kodeks dobrych obyczajów związanych z hałasem mógłby obejmować następujące wskazówki i zalecenia:

- Pamiętaj, że żyjąc w dużych skupiskach ludzkich powinieneś liczyć się z otoczeniem, szanując prawo innych do spokoju i wypoczynku.
- Ze względu na niezadowalające właściwości akustyczne budynków staraj się unikać zachowań powodujących powstawanie hałasu.
- Nie nastawiaj zbyt głośno odbiornika radiowego i TV oraz urządzeń do odtwarzania muzyki, zwłaszcza przy otwartych oknach.
- Nie organizuj głośnych spotkań towarzyskich i uroczystości rodzinnych.
- Nie przeprowadzaj hałaśliwych przeróbek w mieszkaniu bez uzgodnienia z sąsiadami.
- Jeżeli masz psa, dbaj o to, aby nie zakłócał spokoju.
- Wyciszaj hałaśliwy sprzęt domowy przez stosowanie podkładów amortyzujących i izolowania akustyczne.
- Wyciszaj armaturę wodną, w której powstają hałasy wskutek drgań uszczeltek, i kawitacji.
- Nie instaluj hałaśliwych wentylatorów i hałaśliwej armatury wodnej.
- Nie prowadź hałaśliwej działalności w mieszkaniu lub w pobliżu miejsca zamieszkania.
- Dbaj, aby dzieci nie zachowywały się hałaśliwie w mieszkaniu oraz w pobliżu domów i nie używaj w domu twardego obuwia.
- Nie używaj przydomowych parkingów jako miejsca hałaśliwych napraw silników samochodowych.
- Nie rozgrzewaj silnika samochodowego na przydomowym parkingu.
- Nie używaj sygnału alarmowego do przywołania na przydomowym parkingu.
- Nie nastawiaj zbyt głośno odbiornika radiowego na terenach rekreacyjnych.

Kodeks taki powinien zostać zalecony przez samorządy miejskie, lokalne, przyjęty przez samorządy osiedlowe, a po niezbędnych uzupełnieniach rozprowadzony w prasie. Wyegzekwowanie powszechnego przestrzegania tych zaleceń przyczyniło by się do poprawienia warunków życia przynajmniej w budynkach położonych z dala od ciągów komunikacyjnych, gdyż zależałoby to tylko od dobrej woli i kultury zachowań. Wymagałoby zmobilizowania osób wystawionych na działanie hałasu do współdziałania, co nie jest sprawą prostą, biorąc pod uwagę obecne zniechęcenie i apatię oraz nastawienie społeczeństwa. Dodatkową trudność powoduje powszechna niechęć do oddawania się jakimkolwiek rygorom i ograniczeniu swobody, także wśród działaczy samorządowych. Trzeba na nich wymuszać odpowiednie decyzje porządkowe i organizacyjne.

Tabela 4

Poziomy hałasów komunikacyjnych wg pomiarów Zakładu Akustyki ITB

Źródła hałasu	Odległość [m] punktu pomiarowego od źródła hałasu	Poziom dźwięku [dB] (A)
Samolot tłokowy IŁ 14	100	80 - 90
Samolot turbośmigłowy:		
AN-24	100	85 - 95
Viscount	40	95 - 105
Samolot turbodrzutowy:		
Caravelle	275	95 - 104
Commet	40	112 - 118
Ulica bardzo ruchliwa (poziom śr. stat. Lśr)	1m od krawężnika	75 - 85
Ulica ruchliwa	j.w.	70 - 75
Ulica cicha	j.w.	60 - 70
Dworzec autobusowy	50	75 - 85
Dworzec kolejowy	50	70 - 80
Zajeżdźnia tramwajowa	50	70 - 85

Tabela 5

Poziomy hałasów wytwarzanych przez ludzi, urządzenia i instalacje w budynkach
wg pomiarów Zakładu Akustyki ITB

Źródła lub rodzaje hałasu	Miejsce pomiaru	Poziom dźwięku [dB] (A)
Krzyk dzieci	na klatce schodowej	79
Szczekanie psa	j. w.	86
Robot domowy	w kuchni	78
Pisanie na maszynie	w pokoju	77
Radio	j. w.	80
Odkurzacz	j. w.	72
Szum wody WC	w łazience	69
Maszynownia dźwigu:		
luzowniki na prąd zmienny	wewnątrz	90 - 105
luzowniki na prąd stały	j. w.	73 - 82
Trzaskanie drzwiami	w korytarzu	79
Kotłownia	wewnątrz	85 - 96
Kotłownia (mała w cz. prac.)	w punkcie usług	72 - 86
Maszyny krawieckie	w mieszkaniu nad punktem usług	38 - 42

Tabela 6

Porównanie współczynnika hałaśliwości "W" dla dużych i małych miast w Polsce
(wg badań Zakładu Akustyki ITB)

Zakresy poziomu L _{qm} [dB] (A)	Współczynnik W [%]					
	dla dużych miast			dla małych miast		
	Warszawa	Gdańsk	Poznań	Kołobrzeg	Kudowa	Polanica
do 55	-	-	-	-	35	31,5
do 60	-	-	-	9,5	-	-
55 - 60	-	-	-	-	18,0	14,0
61 - 65	-	-	-	50,0	-	27
66 - 70	-	-	-	13,0	12,0	9,0
61 - 70	-	-	-	-	-	-
do 70	33	50,0	25	-	-	-
powyżej 70	-	-	-	28	35,0	8,5
71 - 80	45,8	39,0	51	-	-	-
81 - 90	21,1	11,0	22	-	-	-
powyżej 90	0,1	-	2	-	-	-

4. Źródła i szkodliwość hałasu

Hałas oznacza dźwięki nieprzyjemne lub niepożądane, które powodują zaburzenia samopoczucia, ewentualnie wystąpienie zagrożeń zdrowotnych. Hałas należy ostatnio do najbardziej uciążliwych czynników środowiskowych, szczególnie dla mieszkańców wielkich miast. Ucho ludzkie zarówno na jawie, jak i we śnie stale odbiera dźwięki. Szkodliwe oddziaływanie hałasu i wibracji na organizm ludzki znano już w starożytności. W raporcie Sekretarza Generalnego ONZ U. Thanta z 26 maja 1969 r. na temat człowieka i środowiska - hałas został uznany za równorzędny element zagrożenia środowiska - tak jak zanieczyszczenia wód, gleby i powietrza. Szkodliwe zjawisko nadmiernego hałasu należy traktować łącznie ze zjawiskiem wibracji, ponieważ pochodzą one zwykle z tych samych źródeł i powodują zagrożenie zdrowia człowieka. Wibracje mogą być poza tym przyczyną zagrożenia obiektów budowlanych.

Z punktu widzenia oddziaływania na organizm ludzki hałasy można podzielić na pięć grup:

- o poziomie poniżej 30 dB (A),
- o poziomie od 30 dB (A) do 60 dB (A),
- o poziomie od 60 dB (A) do 90 dB(A),
- o poziomie od 90 dB (A) do 130 dB (A).

Hałasy o poziomie poniżej 30 dB (A) (obszar ciszy) są dla zdrowia nieszkodliwe, lecz mogą być denerwujące. Zalicza się do tej grupy na przykład szum wody w łazience, hałasy sąsiedzkie o małym poziomie, hałasy centralnego ogrzewania lub sieci wodociągowej, agregatów chłodniczych, brzęczenie dławików lampy jarzeniowej, brzęk przekładanych narzędzi lub naczyń. Hałasy te mimo niewielkiego poziomu, mogą przeszkadzać w pracy wymagającej skupienia, takiej jak projektowanie, pisanie i tym podobne.

Hałasy o poziomie od 30 dB (A) do 60 dB (A) wywierają ujemny wpływ na organizm człowieka, gdyż męczą jego układ nerwowy. Pociąga to za sobą spadek wydajności pracy. Ten zakres hałasów może obniżyć zrozumiałość mowy i poważnie utrudnić zasypianie i wypoczynek.

Hałasy o poziomie od 60 dB (A) do 90 dB (A) (obszar obciążenia), przy ekspozycji stałej, zmniejszają znacznie wydajność pracy i mogą być szkodliwe dla zdrowia. Pracownicy

przebywający przez dłuższy czas w takim hałasie narażeni są na trwałe osłabienie słuchu. Dłuższe przebywanie w hałasie o tym poziomie wywołuje bóle głowy, wpływa ujemnie na układ nerwowy człowieka.

Hałasy o poziomie od 90 dB (A) do 130 dB (A) (obszar uszkodzeń) powodują często uszkodzenie słuchu i różne inne schorzenia organizmu ludzkiego, jak zaburzenia układu krążenia, układu nerwowego i równowagi oraz uniemożliwiają zrozumienie mowy nawet z odległości 0,5 m.

Hałasy o poziomie większym od 130 dB (A) (próg bólu) pobudzają do drgań niektóre wewnętrzne organy człowieka powodując ich schorzenia, a niekiedy ich zupełne zniszczenie. Pracujący w takim hałasie mają z reguły poważnie osłabiony słuch. Objawy chorobowe spowodowane przez wymienione hałasy przyczyniają się do znacznego zmniejszenia wydajności pracy.

Na pewnym etapie rozwoju technicznego pojawia się rower, motocykl i samochód. Stosując dzisiejsze kryteria, można stwierdzić, że były to produkty bardzo niedoskonałe. Konstruktorzy wypracowują coraz doskonalszą, optymalną formułę współczesnego samochodu. Trwa nieustanna ewolucja wizji samochodu jutra. Przemiany te zmierzają przede wszystkim w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa i komfortu jazdy. Dąży się do obniżenia jednostkowego zużycia paliwa, emisji spalin oraz hałasu. W ślad za atrakcyjnym sposobem przemieszczania się, który przybrał charakter masowy, pojawiło się wiele negatywnych następstw. Jednym z destruktywnych skutków środowiskowych, z jakim spotyka się codziennie człowiek, są zakłócenia akustyczne. Na pierwszy plan wysuwa się hałas, jako następstwo ruchu komunikacyjnego. Zgodnie z definicją zawartą w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 r., za hałas uważa się drgania rozprzestrzeniające się w powietrzu w postaci fal akustycznych o częstotliwościach i natężeniach stwarzających uciążliwość dla ludzi środowiska. Wśród wszystkich źródeł powstawania hałasu, ruch drogowy zajmuje poczesne miejsce. Ilustruje to poniższe zestawienie:

- hałas spowodowany transportem drogowym	60%
- hałas wywołany przez kolej	10%
- hałas przemysłowy	7%
- hałas budowlany	4%
- ogólny hałas komunalny	19%

Poziom hałas pochodzący z innych źródeł niż transport drogowy, np. hałas przemysłowy, kolejowy czy lotniczy może przewyższać poziom hałasu drogowego, jest jednak przeważnie ograniczony do niewielkich obszarów lub krótkich okresów trwania. Na podstawie badań, pomiarów i ankiet można stwierdzić, że uciążliwość spowodowana hałasem drogowym dotyczy przede wszystkim obszarów zurbanizowanych, położonych przy drogach. Hałas drogowy powstaje w wyniku pracy silnika i zespołów napędowych oraz toczenia się kół po nawierzchni. W mniejszym stopniu hałas powodowany jest takimi czynnikami, jak oddziaływanie aerodynamiczne, przemieszczanie się ładunku, sygnały dźwiękowe. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 grudnia 1983 r., określa normę poziomu hałasu zewnętrznego pojazdu mechanicznego, mierzonego podczas postoju ("bieg jałowy") z odległości 3 m. Dopuszczalne wielkości natężeń hałasu zewnętrznego pojedynczych pojazdów ciężarowych mieszczą się w zakresie 89 - 94 dB (A), a pojazdów osobowych do 85 dB (A). Najbardziej popularny samochód w Polsce - Fiat 126 p, emituje około 83 dB (A)

Interesujące wyniki otrzymano w Niemczech, gdzie w 1991 r., przeprowadzono testy najczęściej kupowanych samochodów, były to: ford fiesta, opel corsa, volkswagen polo. Badania określające uciążliwość dla środowiska przeprowadzono dla czterech warunków pracy silnika, badając hałas zewnętrzny. Uzyskane rezultaty przedstawiono w tabeli 7. [dB (A)].

Tabela 7

Poziom natężenia dźwięków wytwarzanych przez popularne niemieckie samochody

Marka samochodu	bieg jałowy	prędk. 60 km/h	prędk. 90 km/h	ruszanie
Ford Fiesta	47	64	75	80
Opel Corsa	54	65	78	74
Volkswagen Polo	52	65	77	70

Ważną rzeczą jest więc charakterystyka hałaśliwości poszczególnych pojazdów drogowych. One bowiem, oprócz warunków drogowych, takich jak rodzaj i jakość nawierzchni, liczba skrzyżowań, nierówności terenu i inne warunki urbanistyczne, składają się na uciążliwość ruchu drogowego. Zdecydowanie najkorzystniejsze własności akustyczne ma trolejbus, który nie jest również źródłem spalin zatruwających atmosferę miast, nie wymaga specjalnych torów,

a jego awaria nie hamuje danego połączenia. Starsi mieszkańcy Warszawy pamiętają jeszcze trolejbusy jeżdżące po ulicach miasta. Ciekawe, jakie względy były brane pod uwagę przy likwidacji trolejbusów w Warszawie. W tabeli 8 podane są poziomy głośności dźwięków wytwarzanych przez różnego rodzaju pojazdy drogowe, zmierzone według polskiej normy PN - 71/5 - 04051. Obowiązujące w Polsce normy określające dopuszczalny poziom hałasu na 84 dB dla motocykli i 85 dB dla samochodów osobowych. Pociągi elektryczne są stosunkowo najmniej uciążliwe, chociaż jak zawsze, bardzo wiele zależy od wagi, jaką konstruktorzy pociągów przywiązują do sprawy walki z hałasem. Od pewnego czasu wspomina się w Polsce o budowie krajowego systemu autostrad. Z doświadczeń krajów zachodnich wiemy, że hałas, a szczególnie wibracje powstające w sąsiedztwie autostrad o dużym natężeniu ruchu, trwającym często przez całą dobę, są niesłychanie uciążliwe dla mieszkających tam ludzi. Przypomina to odgłos i drgania towarzyszące odległemu bombardowaniu.

Tabela 8

Poziomy głośności dźwięków wytwarzane
przez pojazdy drogowe

Rodzaj pojazdu	Poziom hałasu [dB]
Traktor	90 - 100
Samochód ciężarowy	80 - 95
Autobus	80 - 90
Motocykl WSK	85
Fiat 125p	84
Fiat 126p	83
Mercedes 220 SE	77
Volvo	77

Praktycznie jednak źródłem dźwięku jest potok ruchowy pojazdów, a nie pojedynczy pojazd. W celu oceny stopnia uciążliwości hałasu drogowego, który jest zjawiskiem zmiennym w czasie, stosuje się specjalnie dobrane wskaźniki. Według oceny ekspertów, do najważniejszych przyczyn wpływających na poziom hałasu drogowego potoku pojazdów należy zaliczyć:

- natężenie ruchu,
- średnią prędkość potoku pojazdów,
- strukturę ruchu (udział pojazdów ruchliwych),

- płynność ruchu,
- pochylenie drogowe,
- teksturę nawierzchni drogowej (rodzaj i stan).

Mozna wskazać pewne prawidłowości powstawania hałasu komunikacyjnego. Głośność emitowanego hałasu wzrasta proporcjonalnie wraz ze wzrostem masy całkowitej i mocy silnika oraz z prędkością jazdy. Obecnie znane są i coraz częściej stosowane metody zmniejszania emisji hałasu obejmującego różne typy pojazdów. Jednakże możliwość ich zastosowania jest niewielka, ponieważ uniemożliwia to ciągły wzrost kosztów. Z drugiej strony tzw. niekonwencjonalne środki transportu są bardziej opłacalne, bo nie cechują się tak dużymi kosztami produkcji i eksploatacji. Niestety, jest to powód, dla którego jeszcze długo będziemy musieli żyć z hałasem drogowym. Dla znacznych obszarów jednym z najbardziej uciążliwych źródeł hałasu są lotniska. Obok takich czynników, jak natężenia ruchu, odległość od zwartej zabudowy i usytuowanie pasów startowych względem obszarów zabudowanych, znaczną rolę odgrywa również rodzaj sprzętu latającego. Pod naciskiem społecznym producenci sprzętu latającego poświęcają tym zagadnieniom obecnie coraz więcej uwagi. Wymiana przez LOT w ostatnim okresie przestarzałego już radzieckiego sprzętu latającego na bardziej ekonomiczny i cichszy sprzęt amerykański wyraźnie poprawiła atmosferę akustyczną w sąsiedztwie wielu lotnisk krajowych.

W miarę wzrostu energii dźwięku wzrasta również natężenie oddziaływania tego dźwięku na organ słuchowy i przy pewnym poziomie energii ucho odczuwa wrażenie bólu. To natężenie dźwięku nosi nazwę progu bólu lub granicy bólu. Dla dźwięków wysokich granica bólu leży niżej niż dla dźwięków niskich, to znaczy że tony wysokie powodują wrażenie bólu przy niższej energii dźwięku. Zakres pełnej słyszalności dla ucha człowieka o słuchu normalnym jest zawarty pomiędzy progiem słyszalności, któremu odpowiada 0 dB, a progiem bólu, któremu odpowiada 130 dB. Warunki, którym odpowiada 0 dB można praktycznie stworzyć tylko w laboratorium. Powyżej 130 dB dźwięk jest tak intensywny, że odczuwa się ból. Intensywności tej odpowiada np. bliski hałas silnika odrzutowca lub startującej rakiety. Stopień szkodliwości hałasu i wibracji dla zdrowia człowieka zależy od ich charakteru i czasu oddziaływania, jak również indywidualnej odporności człowieka. Inaczej np. może reagować na określone natężenie hałasu człowiek młody i zdrowy, inaczej - człowiek schorowany, wyczerpany lub człowiek w momencie intensywnej pracy umysłowej. W wyniku badań

przeprowadzonych w wielu krajach stwierdzono, że hałas o poziomie większym od 35 dB przeszkadza w zasypianiu, a hałas 55 dB przedłuża czas zasypiania prawie dwukrotnie. Poza natężeniem hałasu - jego szkodliwość zależy od zróżnicowania charakteru wytwarzających go drgań oraz od czasu trwania. Człowiek narażony na hałas w miejscu pracy powinien przynajmniej mieć ciszę w domu. Tymczasem wiele czynników takich jak np. zła praca instalacji wodociągowej, bliskie sąsiedztwo lokali rozrywkowych, niska kultura sąsiadów itp. - uniemożliwiają odpoczynek. Nie wszystkie możliwe efekty nadmiernego hałasu dają się wymierzyć tak jak przytępienie lub uszkodzenie słuchu. Przebywanie w hałasie prowadzi do szeregu chorób cywilizacji, u podłoża których leżą zaburzenia nerwicowe. Ustalono, że hałas o natężeniu przewyższającym 70 dB wpływa ujemnie na stan zdrowia ludzkiego. Jako górną granicę natężenia dźwięków dopuszczalną z punktu widzenia higieny przyjmuje się 35-40 dB. W narządzie słuchu mogą występować zmiany funkcjonalne, jak np. przejściowe przytępienie słuchu bądź ograniczenie, jak np. ubytki słuchu, a nawet głuchota. Tego rodzaju uszkodzenia pojawiają się zazwyczaj pod wpływem intensywnych hałasów, przy czym stopień uszkodzenia słuchu zależy od natężenia i czasu działania danego hałasu na organizm ludzki. Subiektywna dokuczliwość może występować nawet w przypadku słabo słyszalnych hałasów, rzędu 25-35dB, np. tykanie zegarka lub spadanie kropli wody utrudniającej zasypianie w ciszy nocnej. Szczególnie wrażliwi na działanie hałasu są ludzie chorzy i rekonwalescenci oraz bardziej kobiety niż mężczyźni. Zaburzenia występujące pod wpływem hałasu: wzrost ciśnienia wewnątrzczaszkowego, zmiany w naczyniach włosowatych i mięśniu sercowym. Obserwuje się wzrost ciśnienia krwi, zaburzenia rytmu serca, najczęściej przyśpieszenie czynności serca, zwężenie drobnych naczyń krwionośnych i inne. W przewodzie pokarmowym występuje wzmożone wydzielanie soku żołądkowego, częściej pojawiają się choroby wrzodowe żołądka i dwunastnicy. Wzrasta przemiana materii.

Pod wpływem dokuczliwego hałasu występują zmiany w psychice, jak np. zakłócenie równowagi psychicznej, znużenie, rozdrażnienie, kłótniowość (tabela 10). Często hałas jest przyczyną stanów niepokoju i lęku upośledzonej koncentracji uwagi, zaburzeń i trudności uzyskania pełnego i spokojnego wypoczynku, snu itp. Natężenie dźwięków powyżej 80-85 dB jest dla większości osób przykrą dolegliwością, niektórzy osobnicy odczuwają już jako nieprzyjemne - natężenie dźwięków rzędu około 65 dB. Rozgraniczenie hałasów szkodliwych od nieszkodliwych bywa bardzo trudne. Szkodliwość hałasu zależy nie tylko od natężenia

dźwięku, ale także od rodzaju przeważających częstotliwości, od tego, czy hałas ma charakter ciągły czy impulsowy, od czasu trwania hałasu itd.

Tabela 9
Orientacyjne natężenie hałasu pochodzącego z różnych źródeł

Źródło dźwięku	Natężenie [dB]
Szmer liści, chodzenie po dywanie	10
Szept, chodzenie po parkiecie, cichy ogród	20
Ulica bez ruchu kołowego, spokojna	30
Muzyka radiowa w mieszkaniu	40 - 80
Normalna rozmowa dwóch osób, odkurzacz	50 - 60
Hałaśliwa restauracja, szczekanie psa	70
Tramwaj na torze prostym	75 - 80
Ulica z silnym ruchem, bardzo głośna muzyka	80
Sygnał samochodowy elektryczny, ciągnik "Ursus" w odległości 3 m	90
Pociąg pospieszny w odległości 3,5 m	100
Orkiestra fortissimo w odległości 5 m	100 - 115

Długotrwałe działanie hałasu powoduje zmiany zwyrodnieniowe w aparacie odbiorczym ucha, w tzw. narządzie Cortiego. Dokładny mechanizm powstawania zmian zwyrodnieniowych nie został dotychczas poznany. Badania na zwierzętach, które eksponowano na działanie hałasu o różnym natężeniu i przez różne okresy, wykazały brak bezpośredniego związku między tymi cechami a stopniem zaawansowania zmian zwyrodnieniowych. Osoba, której dotyczy utrata słuchu, nie zdaje sobie sprawy z tego faktu, aż do czasu, kiedy uszkodzenie słuchu obejmuje częstotliwości, jakimi człowiek posługuje się przy rozmowach. Utrata słuchu może być również następstwem działania innych przyczyn. Wśród czynników mogących prowadzić do utraty słuchu wymienić należy - poza hałasem - uderzenia w głowę lub uszy, wybuchy, gwałtowne zmiany ciśnienia oraz oparzenia odpowiednich okolic głowy. Wymienione czynniki wywołują w zasadzie ten sam typ utraty słuchu co hałas, z tą jednak różnicą, że utrata słuchu występuje nagle i jest z reguły ciężka. W przypadku kiedy w wyniku uderzenia w głowę mamy do czynienia ze złamaniem kości skroniowej, utrata słuchu, będąca następstwem takiego uszkodzenia, może być całkowita. Nie znamy, co prawda, dokładnych danych, aby móc odpowiedzieć na pytanie, jaki hałas w jakim czasie spowoduje jakiego stopnia uszkodzenie słuchu. Wiemy natomiast, że poziom hałasu,

który utrudnia porozumiewanie się osób z normalnym słuchem w warunkach długotrwałej ekspozycji może doprowadzić do utraty słuchu.

Tabela 10

Kłótnie w domu i zakładzie pracy wśród osób zatrudnionych w hałasie różnym poziomie (liczba osób kłócących się w stosunku do liczby osób w badanej grupie)

Poziom hałasu w dB (C)	Liczba osób kłócących się [%]	
	w domu	w pracy
70 - 90	11	3
90 - 100	17	11

To, co dochodzi do ucha, osiąga często natężenie dźwięku między 90 a 130 dB, a niebezpieczeństwo zaczyna się właśnie od 90 dB. Kto przez wiele godzin poddany jest takiemu natężeniu dźwięku, słyszy gorzej. Słuch musi najpierw odpocząć. Ale zkłócenia nie mijają całkowicie, występują dłużej lub krócej trwające zaburzenia. Nieprzerwany hałas dochodzący od pracującego silnika jest, dla przykładu, znacznie groźniejszy niż od czasu do czasu dochodzący huk. Ból ucha jest pierwszą oznaką, że znajduje się ono w niebezpieczeństwie. Następuje to zwykle wówczas, gdy natężenie dźwięku osiąga wartość 130 dB. Przy 160 dB może pęknąć błona bębenkowa lub dojść do uszkodzenia ucha środkowego, co prowadzi do pełnej głuchoty. Hałas wpływa nie tylko na słuch, wpływa na cały organizm, głównie zaś na system nerwowy. Bóle głowy, skurcze żołądka, podniesione ciśnienie krwi, zakłócona praca serca to skutki hałasu.

5. Pomiary i normy

Ucho ludzkie może rejestrować dźwięki słyszalne, których natężenie zawarte jest w bardzo szerokich granicach, od 10 W/m.kw. W języku ciśnień odpowiada to ciśnieniom od 2 x 10 N/m.kw. do 67 N/m.kw. Zauważymy że ciśnienie atmosferyczne wynosi 10 N/m.kw. Zmiany ciśnienia wywołane przez falę są więc bardzo małe w porównaniu z ciśnieniem atmosferycznym. Dopiero tak silne źródła dźwięku, jak eksplozje materiałów wybuchowych, mogą wywołać większe zmiany ciśnienia, które odbierane z małej odległości mogą

doprowadzić do uszkodzenia narządu słuchu. Istnieje pewne prawo Webera-Fechnera, które mówi, że: odpowiedź ludzkiego zmysłu słuchu na bodziec dźwiękowy ma w przybliżeniu charakter logarytmiczny, co oznacza, iż wraz ze wzrostem natężenia bodźca (powiedzmy n razy), odpowiedź zmysłu rejestrującego ten bodziec będzie proporcjonalna do $\lg n$. Wygodnie było tak dobrać skalę pomiarową natężenia dźwięku, aby uwzględnić ową logarytmiczną odpowiedź ucha na bodziec dźwiękowy. W tym celu konieczne było przyjęcie pewnego poziomu odniesienia, względem którego będzie mierzone natężenie dźwięku. Przyjęto że tym odniesieniem będzie tzw. próg słyszalności, który odpowiada w przybliżeniu 10 W/m.kw. , lub w języku ciśnień $2 \times 10 \text{ N/m.kw.}$ Liczby, jakie otrzymano z pomiarów realnie spotykanych dźwięków, wydawały się jednak twórcom tak wybranych jednostek zbyt małe, postanowili więc pomnożyć je przez 10. Tak powstała skala nazwana poziomem natężenia dźwięku. Poziom natężenia dźwięku jest więc wielkością $n=10 \lg (I/I_0)$, gdzie I jest natężeniem dźwięku mierzonym w watach na metr kwadratowy (W/m.kw.), a I_0 - natężenie dźwięku odniesienia równych 10 W/m.kw. Tak określony poziom natężenia dźwięku wyrażamy w jednostkach zwanych decybelami. Całkowicie równoważna definicja w języku ciśnień, zwana poziomem ciśnienia akustycznego, jest następująca:

$$n=20 \lg(p/p_0),$$

gdzie: p jest wartością ciśnienia akustycznego, a p_0 ciśnieniem odniesienia równym $2 \times 10 \text{ N/m.kw.}$

Czynnik 20 zamiast 10 wynika z proporcjonalności energii fali do kwadratu amplitudy ciśnienia. Ujemnym skutkiem logarytmicznej, a więc nieliniowej skali natężenia dźwięku, jest niewygodność, np. przy odliczaniu poziomu natężenia dźwięku pochodzącego od kilku źródeł. Trzeba więc wyliczyć natężenia dla poszczególnych źródeł w W/m.kw. , lub N/m.kw. , dodać odpowiednie natężenie i dopiero uzyskać wynik, przeliczyć na logarytmiczną skalę poziomu natężenia dźwięku. Innym rozwiązaniem jest operowanie skutecznymi wartościami ciśnień akustycznych i stosowanie przybliżonych rachunków tych wartości. Podana skala poziomu natężenia dźwięku ma w zastosowaniu do celów praktycznych jeszcze jeden wyraźny brak. Okazuje się, że wrażliwość ucha ludzkiego silnie zależy od częstotliwości dźwięku. Wprowadzono więc nową skalę, zwaną skalą głośności dźwięku, której jednostką jest fon. Jest to skala, w której głośność źródła dźwięku jest odnoszona do głośności dźwięku o

częstotliwości 1000 Hz - dźwięk o danej częstotliwości ma poziom głośności tylu fonów, ilu decybelom odpowiada ten dźwięk przy częstotliwości 1000 Hz.

Dźwięki, które może odbierać człowiek, zawarte są pomiędzy progiem słyszalności a poziomem bólu i mogą być określone kolejno jako trudno słyszalne, męczące, uciążliwe, aż do uszkadzających przejściowo i trwale słuch. Czułość organu słuchu ulega zmianom z wielu różnych powodów. Jednym z najważniejszych są naturalne ubytki słuchu związane z wiekiem. Średnie wartości ubytku słuchu z wiekiem są podane w tabeli 11. Często zdarza się, że hałas występuje w sposób przypadkowy, np. na ulicy o małym natężeniu ruchu pojazdy pojawiają się raz częściej raz rzadziej. Przy ocenie takiego hałasu niezbędne jest wprowadzenie statystycznej miary tego zjawiska. Na ogół jest to pewna średnia z wielu pomiarów wykonywanych w ciągu dłuższego okresu czasu.

Tabela 11

Ubytek słuchu z wiekiem

Wiek [lata]	Ubytek słuchu [dB]
20	1,3
30	7,4
40	12,7
50	18,0
60	27,4
70	36,7
80	44,0

Jak już o tym mówiliśmy, wrażenia słuchowe są wrażeniami subiektywnymi i do pomiarów uciążliwości hałasu stosowano dawniej metody bezpośrednie, zwykle polegające na porównywaniu przez człowieka dwóch dźwięków, z których jeden był dźwiękiem wzorcowym. Taka metoda pomiarów jest jednak bardzo uciążliwa, a uzyskane wyniki wykazują duży rozrzut, związany nie tylko z różną wrażliwością badanych osób, ale też z różną ich dyspozycją. Okazuje się że różnice indywidualne dają wyniki w granicach (+,-) 7dB. Dlatego też obecnie stosuje się prawie wyłącznie zobiiektywizowane metody pomiarowe za pomocą odpowiednich przyrządów. Stosowane obecnie metody są prawie wyłącznie metodami elektronicznymi, w których urządzenie pomiarowe składa się z mikrofonu, wzmacniaczy i magnetofonu. Docierający do mikrofonu dźwięk jest zaburzeniem ciśnienia, powoduje ono pobudzenie przetwornika, wykazującego zmiany ciśnienia. Przetwornikiem

energii dźwięku, czyli energii mechanicznej na elektryczną, jest zwykle element piezoelektryczny lub membrana, której ruch wywołuje zmianę strumienia magnetycznego obejmowanego przez cewkę, w której indukowane jest prąd elektryczny. Wszystkie elementy ciągu pomiarowego muszą być odpowiednio wysokiej klasy, tzn. charakteryzować się dużą stabilnością pracy i liniową, nie wprowadzającą zniekształceń charakterystyką przenoszenia. Najnowsze urządzenia rejestrujące coraz częściej mają zamiast magnetofonu próbkujący konwerter analogowo-cyfrowy i komputer. Zestaw taki pozwala na znaczne zobiektywizowanie pomiarów, albowiem cyfrowo zapisany dźwięk może być później łatwo analizowany pod względem częstotliwościowym i statystycznym. Stwierdzono, że zależnie od konstrukcji, mikrofony mogą mierzyć różne parametry fali dźwiękowej. Układ pomiarowy wymaga ponadto precyzyjnego skalowania całego przyrządu. Skalowanie i pomiary głośności różnych źródeł dźwięku przeprowadza się w komorach bezchowych. Są to pomieszczenia, których ściany wyłożone są odpowiednio ukształtowanymi materiałami pochłaniającymi fale dźwiękowe. W komorach bezchowych energia fali odbitej od ścian jest praktycznie pomijana. Istnieją ściśle normy określające sposób, w jaki mają być przeprowadzone pomiary hałasu. Na przykład dla hałasu komunikacyjnego określają one wysokość mikrofonu nad poziomem jezdni, odległość od osi jezdni, charakterystykę kierunkową mikrofonu i jego orientację względem jezdni. Wymagania dotyczące klimatu akustycznego we wnętrzach urbanistycznych podane są w polskich normach PN-70/B-02151. Proces pomiarowy zaczyna się z chwilą sformułowania zagadnienia metrologicznego, tzn. z chwilą określenia celu pomiaru oraz zdefiniowania przewidywanych do mierzenia wielkości. Za koniec tego procesu należy uważać udokumentowanie wyników pomiaru, ich interpretację oraz ocenę dokładności pomiaru. Informacje dotyczące celu pomiaru i wielkości mierzonych pozwalają na wyodrębnienie odpowiedniej metody pomiaru, wytypowanie niezbędnych przyrządów oraz zaprojektowanie układu pomiarowego (toru pomiarowego). Zebranie wszystkich danych o pomiarze umożliwia przygotowanie i opisanie całego przebiegu procesu pomiarowego w dokumencie pomiarowym. Przy bardziej skomplikowanych pomiarach dokument taki staje się niezbędny i pozwala uniknąć omyłek, zwłaszcza wówczas, gdy inna osoba planuje program pomiaru, a inna go wykonuje. Program pomiaru powinien zawierać następujące główne wskazówki i informacje :

1. Cel przeprowadzonych pomiarów.
2. Metoda prowadzonych pomiarów.
3. Zestaw przyrządów podstawowych i pomocniczych oraz sposób ich połączenia w tor pomiarowy.
4. Kolejność i sposób zerowania oraz kalibracji poszczególnych przyrządów i całego toru pomiarowego.
5. Sposób sprawdzenia prawidłowości działania stanowiska pomiarowego.
6. Kolejność przeprowadzania pomiarów.
7. Zakres zmian wartości wielkości mierzonych.
8. Sposób zbierania informacji końcowych i danych z pomiarów.

Po przeprowadzeniu pomiaru należy bardzo starannie opracować dokumentację przebiegu całego procesu pomiarowego. Dokument taki pozwala na łatwą interpretację wyników oraz umożliwia ich porównanie z innymi badaniami przeprowadzonymi w takich samych warunkach. Należy przyjąć zasadę, że nie opracowane i nie interpretowane wyniki są bezużyteczne. Oszacowaniem natomiast wiarygodności i dokładności pomiarów - nawet uproszczone i prowizoryczne - pozwala ustrzec się przed wyciąganiem fałszywych wniosków. Pomiary hałasu są więc niezbędne dla ustalenia występowania zagrożenia słuchu oraz określenia stopnia tego zagrożenia. Ostatecznym celem pomiarów hałasu jest ustalenie przyczyny jego występowania i zbyt wysokiego poziomu oraz zaprojektowania metod przeciwdziałania (np. obniżenia poziomu). Hałas o poziomie ustalonym, jest to hałas, którego poziom dźwięku A w określonym miejscu zmienia się w czasie nie więcej niż o 5 dB(A). Pomiaru hałasu dokonuje się w kilku równomiernie rozmieszczonych punktach pomieszczenia, a otrzymane wyniki uśrednia.

5. 1. *Pomiary proste poziomu ciśnienia*

Wartości ciśnień akustycznych mogą być określane w całej przestrzeni, z wyłączeniem tych miejsc, gdzie bezpośrednio promieniowanie źródła dźwięku lub bliskości powierzchni ograniczających wywiera mierzalny wpływ. Rejestrujący miernik ciśnienia dźwięku powinien być miernikiem wartości skutecznej. Może on być mechanicznie sprzężony z przełącznikiem filtrów pasmowych. Analizę widma hałasów o poziomie i składowych częstotliwościach, nie ulegających zmianom w czasie, można przeprowadzić bezpośrednio, mierząc zamiany ciśnień

w kolejnych pasmach częstotliwości. Jeśli jednak poziom lub widmo akustyczne dźwięku hałasu zmieniają się w czasie, niezbędne jest korzystanie z pośrednictwa zapisu widma na taśmie magnetycznej. Właściwą analizę widmową można wówczas wykonać w laboratorium, analizując przebieg przez wspomniane filtry tercjonowe lub oktanowe i przepisując poziomy ciśnień na specjalnej taśmie automatycznego zapisywacza poziomu ciśnienia.

5. 2. *Pomiary proste poziomu dźwięku*

Pomiaru poziomu dźwięku hałasu dokonuje się za pomocą miernika poziomu dźwięku najczęściej w dB (A). W Polsce najbardziej rozpowszechniony jest miernik poziomu dźwięku wytwarzany przez duńską firmę Bruel i Kjaer. Miernik ten zaopatrzony jest w zespół filtrów i układy ważenia(A),(B),(C),(D) umożliwiające dokonanie zarówno pomiaru ciśnienia w poszczególnych pasmach oktanowych, jak też w dB(A),dB(B),dB(C),db(D). W celu uzyskania porównywalnych wyników pomiarów wskazane jest posługiwanie się tym smym typem miernika. Miernik powinien być okresowo legalizowany.

5. 3. *Pomiary proste drgań*

W praktyce przeprowadzane są pomiary amplitud wychyleń i przyspieszeń drgań. Typowy układ do pomiaru drgań składa się z czynnika przetwarzającego drgania mechaniczne na zmienne napięcie prądu oraz przedwzmacniacza, który ma średnią arytmetyczną dla kolejnych ustaleń mikrofonu. Źródłem dźwięku może być generator tonu wibrującego lub generator szumu białego, przekazujący energię dźwiękową za pomocą głośników szerokopasmowych o charakterystyce zbliżonej do kulistej. W praktyce dla średnich i dużych częstotliwości stosuje się zestawy głośników szerokopasmowych. W dużych pomieszczeniach metoda pomiaru czasu pogłosu jest znacznie bardziej skomplikowana. Niekiedy, jako źródeł dźwięku przy pomiarach używa się instrumentów muzycznych lub innych naturalnych źródeł dźwięku.

5. 4. *Pomiary złożone modelowe własności akustycznych wnętrz*

W przypadku projektowaniu dużych sal koncertowych, teatralnych, kinowych itp. wnętrz, znaczną pomocą w poprawnym rozwiązaniu zagadnień akustycznych mogą być badania modelowe. Za ich pomocą możliwe jest ustalenie zarówno najlepszego kształtu pomieszczenia, jak też określenie, które powierzchnie wnętrz powinny być pochłaniające, odbijające,

rozpraszające lub kierujące dźwięk. Metody badań modelowych wewnątrz można podzielić na dwie zasadnicze grupy :

- modelowe badania pseudoakustyczne,
- modelowe badania akustyczne.

W grupie pierwszej badania przeprowadza się na modelach dwuwymiarowych przy zastosowaniu fal wodnych lub świetlnych (tzw. nieakustycznych). Modele stosowane w grupie drugiej są trójwymiarowe, zmniejszone geometrycznie w odpowiedniej skali, a badania przeprowadza się za pomocą fal ultraakustycznych. Oczywiście, stopień podobieństwa akustycznego w grupie drugiej jest znacznie większy, co pozwala na dokładniejsze zbadanie właściwości akustycznych projektowanego wnętrza na jego modelu. Badania modelowe akustyczne wewnątrz powinni wykonywać specjaliści akustycy.

5. 5. Pomiary złożone badań modelowych elementów urbanistycznych

Właściwości akustyczne niektórych elementów urbanistycznych można określić na ich modelach zmniejszonych w odpowiedniej skali. W tej samej skali powiększa się częstotliwości dźwięku stosowanego do badania. Badania przeprowadza się albo na otwartej przestrzeni - można wówczas wykonać duży model, albo w komorze bezpogłosowej. Za pomocą metody modelowej opracowanej w Zakładzie Akustyki ITB można określić wartość zmniejszenia poziomu dźwięku wskutek ekranowania jednego budynku przez drugi na modelach w skali 1:30. Modelowaniu akustycznemu podlega również powierzchnia terenu.

5. 6. Pomiary laboratoryjne

W laboratorium przeprowadza się pomiary własności akustycznych: przegród, materiałów dźwiękochłonnych i stosowanych do układów izolacyjnych amortyzatorów drgań, kanałów i tłumików wentylacyjnych. W niektórych przypadkach przeprowadza się również pomiary charakterystyki pomiarów hałasów powodowanych przez maszyny i instalacje. Pomiary przeprowadzane są zazwyczaj w pomieszczeniach spełniających określone wymagania pod względem warunków akustycznych wewnątrz posiadających odpowiednio rozwiązana ochronę przeciwdźwiękową i zaopatrzonych w precyzyjną aparaturę do mierzenia podstawowych wielkości akustycznych. Przykładem nowoczesnego laboratorium akustycznego jest laboratorium Zakładu Akustyki ITB, które składają się z następujących zespołów:

- zespół 3 komór głosowych o objętości 100 m^3 każda, odizolowanych od siebie akustycznie, do badań własności akustycznych przegród,
- komory pogłosowej o objętości 200 m^3 do badań własności akustycznych materiałów i ustrojów dźwiękochłonnych, a w niektórych przypadkach maszyn i urządzeń,
- komory bezpogłosowej do badań przetworników elektroakustycznych oraz badań audiometrycznych,
- innych stanowisk pomiarowych, jak komór do badań modelowych przegród, falowodów akustycznych, stanowisk do badań współczynnika sztywności dynamicznej materiałów sprężystych i pomieszczeń kameralnych.

5.7. *Pomiary terenowe*

W terenie przeprowadza się pomiary hałasów występujących w urbanistyce, jak np. pomiary poziomu i charakterystyk hałasów komunikacyjnych, wartości zmniejszenia poziomu dźwięku wskutek tłumienia lub ekranowania hałasu przez przegrody urbanistyczne, zieleń, pomiary własności akustycznych wnętrz specjalnych, pomiary własności akustycznych przegród w budynkach, pomiary hałasu i drgań. Zasady pomiaru własności akustycznych przegród i własności akustycznych wnętrz nie różnią się od stosowanych w pomiarach laboratoryjnych. Warunki spotykane w praktyce pogarszają na ogół własności akustyczne przegród. Zmieniają się również parametry akustyczne innych elementów, co powoduje konieczność równoległego prowadzenia badań w warunkach naturalnych w celu określenia czynników, które w warunkach laboratoryjnych nie są uchwytnie.

Do badań terenowych służą specjalne laboratoria ruchome z kompleksem przyrządów pomiarowych. Większość pomiarów terenowych sprowadza się do pomiaru czterech podstawowych wielkości akustycznych, a mianowicie:

- poziomu dźwięku danego hałasu,
- widma hałasu, czyli ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości,
- parametrów akustycznych pomieszczeń,
- amplitudy prędkości i amplitudy przyspieszeń dgań maszyn, urządzeń, instalacji elementów konstrukcji budynków.

W ostatnich latach rozwinęły się metody pomiarów hałasów oraz właściwości akustycznych materiałów, przeciwhałasowych elementów konstrukcyjnych i

dźwiękochłonnych za pomocą układów z zastosowaniem analizy komputerowej. Metody te polegają na zapisaniu dźwięku na taśmie magnetycznej, a następnie na analizie komputerowej zapisanego dźwięku. Niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego programu sterującego operacjami komputera. Komputer może być również użyty do obliczeń parametrów akustycznych mierzonych za pomocą tradycyjnych układów pomiarowych. W tym przypadku niezbędne jest zastosowanie specjalnego analizatora i dekodera sygnałów akustycznych na język komputerowy.

W trosce o ochronę zdrowia człowieka odpowiednie normy określają zarówno dopuszczalny poziom hałasu wytwarzanego przez urządzenia, maszyny itp., jak również hałasu w niektórych pomieszczeniach, w których przebywa i pracuje człowiek. Przykładem pierwszej grupy norm może być np. PN-71/S-04052, która określa dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdów samochodowych. Jeśli chodzi o normę przeciwdźwiękową pomieszczeń, to związane z tym zagadnienia akustyki budowlanej określa PN-70/B-02151.

W tabeli 12 przytoczono najbardziej istotne ustalenia tej normy. Dopuszczalne uśrednione poziomy dźwięku hałasu wyrażono w dB(A), a więc w jednostkach stanowiących odczyt sonometru przy zastosowaniu charakterystyki korekcji A. W przypadku wszystkich stanowisk pracy określa się dopuszczalny poziom hałasu ze względu na ochronę organu słuchu analizując każdorazowo rodzaj i czas ekspozycji człowieka na hałas. Przy ekspozycji ciągłej trwającej więcej niż 5h dopuszczalny poziom dźwięku hałasu na stanowisku pracy nie powinien przekraczać 90 dB(A). Przy krótszym czasie ekspozycji lub przerywanym jej charakterze dopuszcza się pewne zwiększenie, które można określić na podstawie odpowiednich wykresów. Nasze przepisy uznają za szkodliwy hałas o natężeniu 90dB(A). Wśród fachowców w wielu krajach zaczyna przeważać opinia, że hałas o natężeniu 85 dB powinien być uznawany za szkodliwy.

Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku hałasów przenikających do pomieszczenia ze wszystkich źródeł usytuowanych poza danym pomieszczeniem i sterowanych spoza danego pomieszczenia nie powinien przekraczać wartości podanych w tabeli 12. W budynkach usytuowanych przy głównych arteriach miejskich oraz w pobliżu lotnisk, obiektów kolejowych i hałaśliwych zakładów przemysłowych w uzasadnionych przypadkach, kiedy brak jest technicznych środków do spełnienia wymagań podanych w tabeli 12, dopuszcza się zwiększenie wartości równoważnego poziomu dźwięku o 5 dB(A). Jest to jednak

równoznaczne z pogorszeniem warunków akustycznych w tych obiektach. W pomieszczeniach specjalnych, takich jak sale kinowe, teatralne i koncertowe odbiornikiem dźwięku jest bardzo często mikrofon, który - w odróżnieniu od ucha ludzkiego - odbiera dźwięk w przybliżeniu jednakowo w szerokim paśmie częstotliwości. Stąd też charakterystyka dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach specjalnych bardziej ogranicza zakłócenia w paśmie małych częstotliwości. Dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach specjalnych podano w tabeli 13.

Tabela 13

Dopuszczalne poziomy dźwięku hałasów przenikających do pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz do pomieszczeń przeznaczonych do pracy umysłowej (wg PN-70/B-02151)

Przeznaczenie pomieszczenia	Dopuszczalny maksymalny równoważny poziom dźwięku od wszystkich źródeł hałasu		Dopuszczalny maksymalny poziom dźwięku w pomieszczeniu do instalacji i urządzeń w budynku	
	[dB] (A)		[dB] (A)	
	godz. 6.00 - 22.00	godz. 22.00 - 6.00	godz. 6.00 - 22.00	godz. 22.00 - 6.00
Pomieszczenia mieszkalne w budynkach mieszkalnych, internatach itp.	40	30	35	25
Pokoje hotelowe kat. S i I	40	30	35	25
Pokoje hotelowe kat. II i III	45	35	40	30
Pokoje chorych (szpitale i sanatoria)	35	30	30	25
Gabinety lekarskie	35	-	30	30
Sale operacyjne i pooperacyjne	30	-	25	25
Klasy, pracownie szkolne, sale wykładowe	40	-	35	-
Audytorium, sale konferencyjne				
Pomieszczenia do pracy umysłowej, koncepcyjnej lub innej wymagającej koncentracji umysłowej	35	-	30	-
Pomieszczenia administracyjne bez wewnętrznych źródeł hałasu j.w.	40	-	35	-
dostępne dla interesantów	45	-	40	-
Czytelnie w bibliotekach	35	-	30	-
Sale i pokoje zajęć w domach kultury, świetlicach itp., w zależności od przeznaczenia	40 - 50	-	30 - 40	-

Tabela 14

Dopuszczalne poziomy dźwięków zakłócających w pomieszczeniach do słuchania, zapisu i odczytywania muzyki i mowy

Rodzaj pomieszczenia	Dopuszczalny poziom dźwięku zakłócającego we wskaźnikach N
Sale teatralne i koncertowe	20 - 25
Sale konferencyjne i audytoria	20 - 25
Sale kinowe	25 - 30
Sale telekonferencyjne	25
Studia do przekazywania informacji w radiowęzłach	30

Literatura

1. Bonenberg K., Super technika w mikrofonie - czyli o hałasie inaczej, "Aura" 1992, nr 2.
2. Bonenberg K. Ucho czuwa nieustannie, "Aura" 1992, nr 3.
3. Cempel Cz. Wibroakustyka stosowana, PWN, Warszawa -Poznań, 1978.
4. Ciszej, "Ekopartner", 1993 nr 4.
5. Czekaj K., Wódz J., Miasto. Ekologia społeczna. Patologia społeczna, Prace naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr 1241, Katowice 1991.
6. Dwadzieścia zasad tworzenia i rozwoju Zdrowego Miasta, Światowa Organizacja Zdrowia, Biuro Regionu Europejskiego, 1992.
7. Engel Z., Praktyczne zastosowanie aktywnych metod redukcji hałasu ", Aura 1992, nr 9.
8. Engel Z., Sadowski J., Hałas i wibracje w środowisku, LOP, Warszawa 1992.
9. Goliszewski J, Piotrowski H., Technika sanitarna, WSiP, Warszawa 1976.
10. Hofman M.F., Hałas komunikacyjny „Ten świat” 1992, nr 9/10.
11. Informacje i opracowania statystyczne. Ochrona środowiska, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1986,
12. Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, Projektowanie akustycznie lekkich przgród międzymieszkaniowych, Arkady, Warszawa 1967.
13. Juda J., Budziński K., Zanieczyszczenia atmosfery, WND, Warszawa 1961.

14. Jurczyk M. Wibracje, PWN, Warszawa 1974.
15. Katalog rozwiązań podłóg dla budownictwa mieszkaniowego i ogólnego B-20/65, wyd.3, Warszawa BPT i SBM 1970.
16. Kacprowski J., Zarys elektroakustyki, WKiŁ, Warszawa 1960.
17. Korzecak C, Leowski J., Problemy higieny i ochrony zdrowia, WSiP, Warszawa 1977.
18. Korbel A.J., Ekologia urbanistyki, Politechnika Śląska Katowice, 1988.
19. Kowalak A., Mini eko-wademekum! Jak żyć na obszarach kłęski ekologicznej, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno 1991.
20. Kozielski J., Zagadnienia fizyczne w inżynierii i budownictwie, PWN, Warszawa 1971.
21. Kozłowski S., Gospodarka a środowisko przyrodnicze, PWN, Warszawa 1983.
22. Kryteria zdrowotne środowiska, Tom 12 - Hałas, PZWL, Warszawa 1988.
23. Kucharski R.J. , Kraszewski M., Kurpiewski A., Obliczeniowe metody oceny klimatu akustycznego w środowisku, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1988.
24. Lewicki B., Budynki mieszkalne z prefabrykantów wielkowymiarowych, Arkady, Warszawa 1964.
25. Malecki I. Wpływ wymogów akustycznych na kształtowanie miasta, "Miasto" 1952, nr 3.
26. Malecki I., Teoria fal i układów akustycznych, PWN, Warszawa 1964.
27. Malecki I., Rogiński R. , Sadowski J., Szudrowicz B., Projektowanie ochrony przeciwdźwiękowej w budownictwie, Wyd ITB, Warszawa 1971.
28. Maurer G., I ty chronisz środowisko, Polski Klub Ekologiczny, Kraków 1991.
29. Metody i sposoby zwalczania hałasu, "Aura" 1988, nr10.
30. Micalski R., Metodyka pomiarów akustycznych, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1985.
31. Miszczak S., Rozgłoszenie radiowe i telewizyjne, WKiT, Warszawa 1966.
32. Miszczak S., Technologia studiów radiowych i telewizyjnych, Instytut Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1972.
33. PN-61/B-02153, Akustyka budowlana. Nazwy i określenia.
34. PN-63/B-02151, Akustyka budowlana. Badania własności akustycznych przegród.
35. PN -68/B -02154, Akustyka budowlana. Dopuszczalny poziom hałasu zewnętrznego.
36. PN-65/S-04051, Pojazdy samochodowe. Dopuszczalny poziom hałasu zewnętrznego, Wydawnictwa Normalizowane 1965.

37. PN-81/N -01306, Hałas. Metody pomiarowe. Wymagania ogólne.
38. Pomiary dźwięków, Bruel and Kjaer BRO 136.
39. Praca zbiorowa pod redakcją Andrzejewskiego R., Stan środowiska w Polsce, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Kraków 1993.
40. Puzyna Cz., Normalizacja w walce z hałasem, Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa 1973.
41. Radecki W., Ochrona zabytków przed hałasem, "Aura" 1993, nr7.
42. Raipert T., Analiza wybranych metod oceny hałasów lotniczych, Archiwum Akustyki 3,6, Warszawa 1971.
43. Rejnowski J., Hałasy. Wskaźniki i kryteria oceny, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1988.
44. Duży Rocznik Statystyczny 1994, Warszawa.
45. Rogiński R., Sadowski J., Walka z hałasem w komunikacji i przemyśle, WKiT, Warszawa 1965.
46. Rybarczyk W., Walerian E., Kowal E., Projektowanie i wdrażanie rozwiązań zmniejszających hałas, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1988.
47. Sadowski J., Akustyka architektoniczna, PWN, Warszawa-Poznań 1976.
48. Sadowski J., Akustyka Ochrona przeciwdźwiękowa w budownictwie, Wyd. BSiPBP "Bistyp", Warszawa 1965.
49. Sadowski J., Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie, Arkady, Warszawa 1971.
50. Sadowski J., Ochrona przeciwdźwiękowa w budownictwie. Właściwości akustyczne przegród budowlanych, Arkady, Warszawa 1965.
51. Sadowski J., Zagadnienia akustyki w mieście, Architektura nr1,2(1970).
52. Sadowski J., Zasady projektowania ochrony przeciwhałasowej w osiedlu mieszkaniowym, cz -1-3, Wydawnictwo CRS, Warszawa 1971.
53. Sadowski J. Wodziński L., Akustyka pomieszczeń, WK, Warszawa 1959.
54. Siemiński M., Fizyka zagrożeń środowiska, PWN, Warszawa 1959.
55. Śnięgielski J., Akustyczne zanieczyszczenie środowiska, Aura 1992, nr 8.
56. T.E.C. nr 110/1992.

57. T.E.C. nr 111/1992.

58. Żyszkowski Z., Miernictwo akustyczne, WNT, Warszawa 1987.

59. Żyszkowski Z., Podstawy elektroakustyki, PWN, Warszawa 1963.