

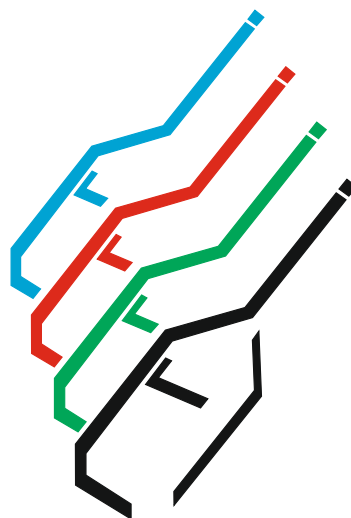
# NTL - M.Kirpluk

Mikołaj Kirpluk „NTL-M.Kirpluk”  
00-761 Warszawa, ul.Belwederska 3 m.6  
tel. (+48) 502 216620, mkirpluk@ntlmk.com  
www.ntlmk.com

---

## Podstawy akustyki

mgr Mikołaj Kirpluk



Warszawa, wrzesień 2020

(I edycja: wrzesień 2004)



**Spis treści:**

<b>1.</b>	<b>FALA DŹWIĘKOWA</b> .....	<b>3</b>
1.1.	Cechy fizyczne.....	3
1.2.	Zjawiska fizyczne.....	5
1.2.1.	Superpozycja fal.....	5
1.2.2.	Odbicie, ugięcie i przenikanie.....	6
1.2.3.	Refrakcja, interferencja i fala stojąca.....	7
1.2.4.	Dźwięki powietrzne i materiałowe.....	8
1.3.	Klasyfikacja pól i sygnałów akustycznych.....	9
<b>2.</b>	<b>ZMYŚŁ SŁUCHU</b> .....	<b>10</b>
2.1.	Budowa ucha.....	10
2.2.	Słyszenie i postrzeganie dźwięku.....	10
<b>3.</b>	<b>PARAMETRY AKUSTYCZNE - DEFINICJE</b> .....	<b>11</b>
3.1.	Wartość skuteczna (RMS) i szczytowa (PEAK).....	11
3.2.	Poziom dźwięku i decybel.....	12
3.3.	Ekspozycja względna.....	16
3.4.	Działania matematyczne na poziomach dźwięku.....	17
3.4.1.	Suma poziomów (patrz też 3.9).....	17
3.4.2.	Różnica poziomów.....	17
3.4.3.	Różnica poziomów - poprawka $K_1$ .....	18
3.5.	Korekcja częstotliwościowa (LIN lub Z, A, C).....	19
3.6.	Inne krzywe korekcyjne.....	20
3.7.	Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej.....	21
3.7.1.	Poziom ciśnienia akustycznego.....	21
3.7.2.	Poziom dźwięku A.....	21
3.7.3.	Maksymalny poziom dźwięku A przy stałej czasowej SLOW.....	22
3.7.4.	Szczytowy poziom dźwięku C.....	22
3.7.5.	Wzorcowy poziom dźwięku (ozn.: $L_{pT}$ ).....	22
3.7.6.	Poziom mocy akustycznej.....	23
3.7.7.	Poziom A energii akustycznej.....	24
3.8.	Poziom równoważny, ekspozycyjny, długotrwały średni.....	26
3.8.1.	Poziom równoważny ( $L_{eq}$ lub LEQ) - definicja.....	26
3.8.2.	Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do czasu 8-godzinnego dnia pracy (dzienny poziom ekspozycji na hałas) 28.....	28
3.8.3.	Poziom ekspozycyjny ( $L_{AE}$ lub SEL) - definicja.....	29
3.8.4.	Obliczanie poziomu równoważnego.....	30
3.8.5.	Obliczanie poziomu długotrwałego średniego.....	31
3.8.6.	Poziom dziennie-wieczornonocny $L_{DWN}$ (LDEN).....	31
3.9.	Sumowanie „logarytmiczne” poziomów akustycznych.....	32
3.10.	Chłonność akustyczna pomieszczenia.....	33
3.11.	Czas pogłosu.....	35
<b>4.</b>	<b>POMIAR POZIOMU DŹWIĘKU</b> .....	<b>36</b>
4.1.	Schemat ideowy miernika.....	36
4.2.	Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS.....	37
4.3.	Mierzone parametry.....	38
4.4.	Rejestracja sygnału.....	39
4.5.	Pomiary hałasu - używane pojęcia.....	40
4.6.	Protokół pomiarowy.....	41
<b>5.</b>	<b>OCHRONA PRZED HAŁASEM</b> .....	<b>42</b>
5.1.	Przepisy prawa.....	42
5.1.1.	Ochrona środowiska.....	42
5.1.2.	Pomieszczenia w budynkach.....	42
5.1.3.	Stanowiska pracy.....	43
5.2.	Pomiary hałasu w środowisku zewnętrznym - informacyjnie.....	44
5.2.1.	Wybór punktów pomiarowych.....	44
5.2.2.	Sposób prowadzenia pomiarów.....	44
5.2.3.	Uwzględnienie tła akustycznego.....	44
5.3.	Pomiary hałasu w pomieszczeniach - informacyjnie.....	45
5.4.	Pomiary hałasu na stanowiskach pracy - informacyjnie.....	46
<b>6.</b>	<b>ZAŁĄCZNIKI</b> .....	<b>47</b>
6.1.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku.....	47
6.2.	Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.....	49
6.3.	Wymagane izolacyjności akustyczne ścian wewnętrznych.....	51
6.4.	Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy.....	53
6.5.	Poprawki widmowych krzywych korekcyjnych A, B, C, D i G.....	54
6.6.	Krzywe NR.....	55
6.7.	Działania na potęgach i logarytmach.....	56
6.8.	Uprozczone tablice wykładnicze i logarytmiczne.....	57
6.9.	Współczynniki rozkładu T-Studenta:.....	58
6.10.	Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane).....	59

# 1. Fala dźwiękowa

## 1.1. Cechy fizyczne

Fala dźwiękowa to forma transmisji energii przez ośrodek sprężysty.

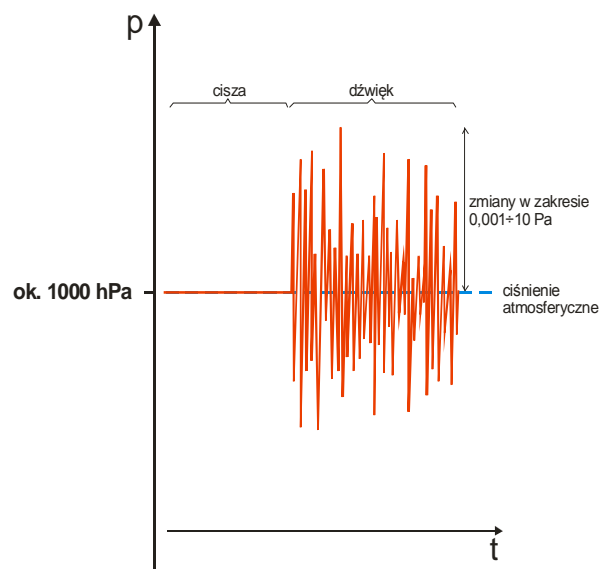
W powietrzu falę dźwiękową stanowi fala podłużna (tzn. zaburzenia stanu występują wzdłuż kierunku propagacji) zmian ciśnienia atmosferycznego.

Definicje:

- **Drgania akustyczne** - *drżania mechaniczne, polegające na ruchu cząstek środowiska sprężystego względem położenia równowagi.*
- **Dźwięk** - *wrażenie słuchowe wywołane drżaniami akustycznymi lub drżaniami akustycznymi zdolne wytworzyć wrażenie słuchowe.*
- **Hałas** - *dźwięk niepożądany - w danym miejscu i czasie, przez daną osobę.*



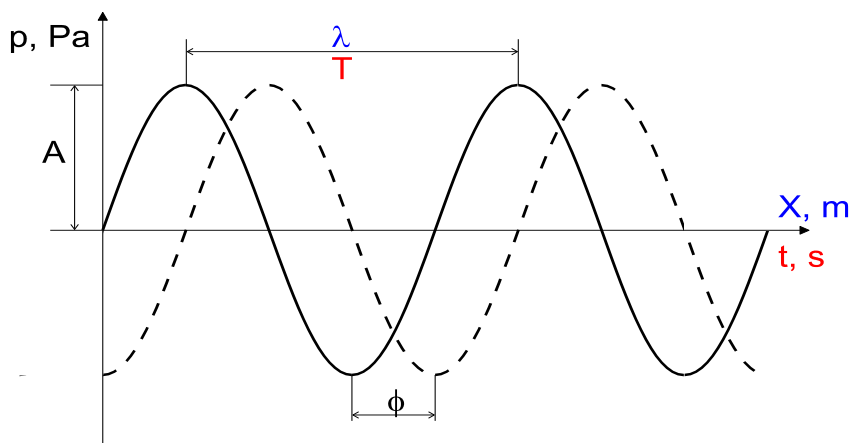
- **Cięśnienie akustyczne**  
- *chwilowe zmiany ciśnienia względem średniego ciśnienia atmosferycznego:*



*Ciekawostka (definicje będą dalej...):*

- *minimalny poziom dźwięku to  $-\infty$  [dB] - czyli brak emisji, ale maksymalny poziom (fala sinusoidalna, w powietrzu, dla warunków normalnych  $t=0^{\circ}\text{C}$ ,  $p_{\text{atm.}}=101325\text{ Pa}$ ) - to tylko **194,1 dB**...*

Fala jest opisana następującymi wielkościami (na przykładzie fali sinusoidalnej):



- prędkość rozchodzenia się fali (prędkość dźwięku)  $c$  - prędkość rozchodzenia się zaburzenia ośrodka (sygnału):
  - w powietrzu (ok. 20°C) 340 m/s (ok. 1220 km/h = 1 Mach)
  - w wodzie (ok. 10°C) 1450 m/s
  - w betonie 3800 m/s
  - w stali ok. 6000 m/s
- faza drgania  $\phi$  - wielkość wyznaczająca odchylenie w danym punkcie i w danym czasie od średniego położenia, albo: różnica w czasie lub w przestrzeni pomiędzy takim samym odchyleniem od średniego położenia,
- okres drgań  $T$  - jest to najmniejszy przedział czasu, po którym powtarza się ten sam stan obserwowanego zjawiska (drgania lub zaburzenia),
- długość fali  $\lambda$  - odległość pomiędzy dwoma kolejnymi punktami wzdłuż kierunku propagacji zaburzenia, w których drgania mają tę samą fazę.  
Długość fali można wyznaczyć z zależności:

$$\lambda = c \cdot T$$

- częstotliwość  $f$  - liczba okresów drgań w jednostce czasu - dla 1s wyrażana w **Hz**,

$$f = \frac{1}{T} \quad \lambda \cdot f = c$$

częstotliwość $f$	długość $\lambda$ (w powietrzu)
Hz	m
20	17
50	6,8
100	3,4
340	1,0
<b>500</b>	<b>0,68</b>
<b>1000</b>	<b>0,34</b>
8000	0,04
16000	0,02

*Uwaga: długość fali dla najwyższej czułości ucha ludzkiego jest rzędu 0,5 m...*

- amplituda  $A$  - maksymalne odchylenie od położenia równowagi.

## 1.2. Zjawiska fizyczne

### 1.2.1. Superpozycja fal

Dowolną falę akustyczną można przedstawić w postaci **superpozycji** składowych sinusoidalnych (-> analiza Fouriera lub FFT).

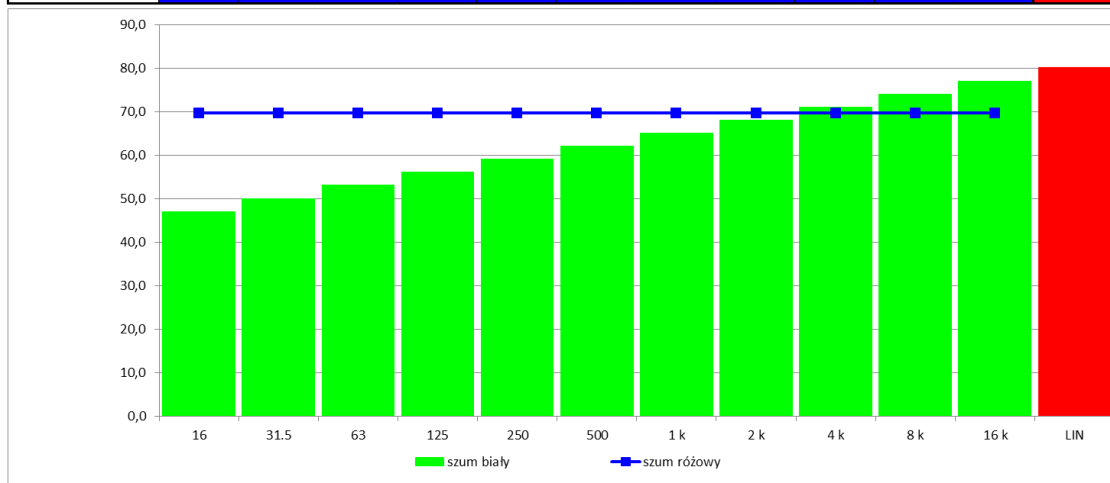
Takie przedstawienia nosi nazwę **widma fali akustycznej**.

Przypadki szczególne - definicje:

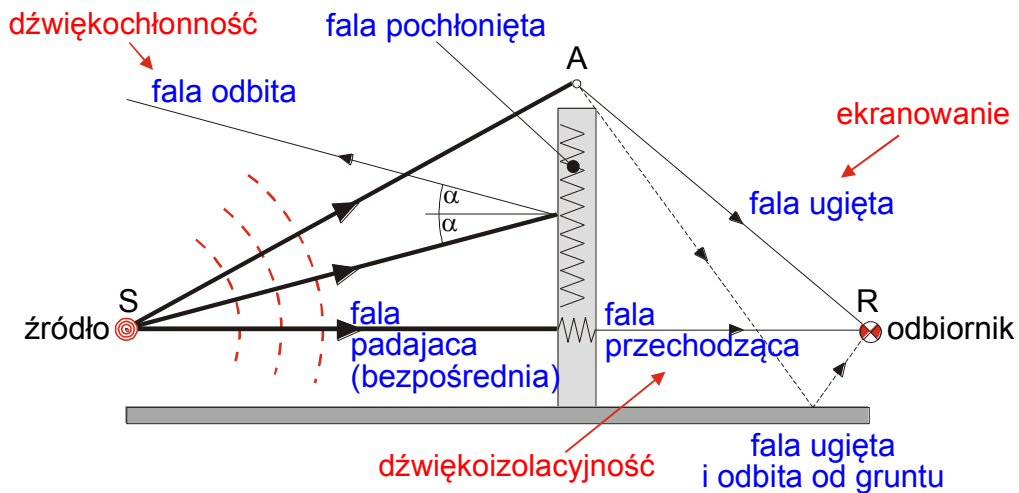
- **Ton prosty** - fala dźwiękowa o przebiegu sinusoidalnym ze stałą częstotliwością, w analizie FFT reprezentowany przez pojedynczy „prążek”;
- **Częstotliwości harmoniczne** - częstotliwości stanowiące wielokrotność częstotliwości podstawowej:
  - dla struny i pręta drgania: zwiększenie o czynnik będący kolejnymi liczbami naturalnymi,
  - dla sygnału o przebiegu prostokątnym: zwiększenie o czynnik będący kolejnymi liczbami nieparzystymi (rozkład FFT fali prostokątnej na składowe sinusoidalne);
- **Oktawa** - pasmo częstotliwości pomiędzy częstotliwościami, których stosunek równa się 2. Oktawy są charakteryzowane przez tzw. częstotliwości środkowe: 16 Hz, 31,5 Hz, **63 Hz**, **125 Hz**, **250 Hz**, **500 Hz**, **1 kHz**, **2 kHz**, **4 kHz**, **8 kHz**, 16 kHz. Granice pasm oktawy są określone względem częstotliwości środkowej przez pomnożenie albo podzielenie jej wartości przez  $\sqrt{2}$  ;
- **Tercja** - pasmo częstotliwości pomiędzy częstotliwościami, których stosunek równa się  $\sqrt[3]{2}$  . Trzy kolejne tercje stanowią **oktawę**.  
Częstotliwości środkowe tercji w Hz (zakres słyszalny - AUDIO): 12,5, **16**, 20, 25, **31,5** , 40, 50, **63**, 80, 100, **125**, 160, 200, **250**, 315, 400, **500**, 630, 800, **1000**, 1250, 1600, **2000**, 2500, 3150, **4000**, 5000, 6300, **8000**, 10 000, 12 500, **16 000**, 20 000. . Granice pasm oktawy są określone względem częstotliwości środkowej przez pomnożenie albo podzielenie jej wartości przez  $\sqrt[6]{2}$  ;
- **Szum biały** - szum szerokopasmowy o takiej charakterystyce widmowej, że poziom ciśnienia akustycznego dla każdej częstotliwości jest taki sam, konsekwencją tego jest wzrost poziomu dźwięku dla coraz wyższych oktaw (+3 dB/oktawę).
- **Szum różowy** - szum szerokopasmowy o takiej charakterystyce widmowej, że poziom dźwięku dla każdego pasma oktawowego (lub tercjowego) jest taki sam.

*Szum biały i różowy o takiej samej energii akustycznej:*

pasmo oktawowe:	16	31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k	LIN	$L_A$	$L_C$
szum biały	47,0	50,0	53,0	56,0	59,0	62,0	65,0	68,0	71,0	74,0	77,0	80,0	77,7	76,3
szum różowy	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	69,6	80,0	76,8	78,6



### 1.2.2. Odbicie, ugięcie i przenikanie



- **Refleksja** - to **odbicie fali** na granicy dwóch ośrodków sprężystych, w których fala przenosi się z różną prędkością.

Przy odbiciu fali akustycznej od przegrody jest zachowane prawo mówiące o tym, że kąt padania fali jest równy kątowi odbicia - przy założeniu, że wymiary przeszkody są znacznie większe od długości fali.

Parametrem charakteryzującym własności odbijające jest współczynnik odbicia  $\beta$ :

$$\beta = \frac{I_{odb.}}{I_{pad.}}$$

Przeciwieństwem zdolności do odbijania fali jest **dźwiękochłonność**, charakteryzowana współczynnikiem **chłonności**  $\alpha$ :  $\alpha = 1 - \beta$

- **Transmisja** - to przenikanie fali przez przegrodę.

Parametrem charakterystycznym jest współczynnik transmisji  $T$ :

$$T = \frac{I_{prz.}}{I_{pad.}}$$

Przeciwieństwem zdolności transmisyjnych jest **dźwiękoizolacyjność**, charakteryzowana współczynnikiem **izolacyjności**  $R$ :

$$R = 1 - T$$

- **Dyfrakcja** - to **ugięcie fali na krawędzi przeszkody** na trasie propagacji fali.

Fale o niższych częstotliwościach (większych długościach) uginają się łatwiej niż fale o wyższych częstotliwościach (krótsze).

Skutek fizyczny tego zjawiska jest taki, że fale o długościach porównywalnych z wymiarami przeszkody oraz o długościach większych - omijają tę przeszkodę, praktycznie bez żadnego tłumienia.

Zdolność do ugięcia fali decyduje o skuteczności ekranowania przez przeszkody terenowe.

### 1.2.3. Refrakcja, interferencja i fala stojąca

- **Refrakcja** - to **ugięcie fali na granicy dwóch ośrodków** sprężystych, w których fala przenosi się z różną prędkością.
- **Interferencja** - wzajemne oddziaływanie dwóch fal, polegające na miejscowym **wzmocnieniu** (*interferencja konstruktywna*) lub **osłabieniu** (*interferencja destruktywna*) pola związanego z falą. W szczególnych przypadkach przy pomocy tego zjawiska można tłumić hałas -> tonalny.
  - *interferencja konstruktywna* przy przechodzeniu fali przez dwie płaszczyzny równoległe do siebie zachodzi dla długości fali  $\lambda = 2d/n$  (gdzie  $d$  - odległość między tymi płaszczyznami,  $n \in \mathbb{N}$ ) - inaczej: dla warunku  $d = n \cdot \frac{1}{2} \lambda$ ;
  - *interferencja destruktywna* przy przechodzeniu fali przez dwie płaszczyzny równoległe do siebie zachodzi dla długości fali  $\lambda = 4d/(1+2n)$  (gdzie  $d$  - odległość między tymi płaszczyznami,  $n \in \mathbb{N}$ ) - inaczej: dla warunku  $d = (\frac{1}{4} + n \cdot \frac{1}{2}) \lambda$ ;

#### UWAGA:

- **aktywne tłumienie hałasu** wykorzystuje zjawisko *interferencji* - *interferencja destruktywna* (w przeciwfazie) „wygłusza” falę akustyczną, ale jest to możliwe **tylko** przy określonych warunkach brzegowych: w pomieszczeniach zamkniętych, w niewielkich obszarach (porównywalnych z długością fali), w kanałach wentylacyjnych, kabinach pojazdów, itp.

#### natomiast...

- **w środowisku otwartym** - np. do tłumienia hałasu przemysłowego, komunikacyjnego czy lotniczego, jest to nadal **science fiction** (przynajmniej do czasu opanowania technologii pól siłowych znanych z filmów *Star Trek* albo *Star Wars*...), a „osobnicy” propagujący takie idee tylko wystawiają sobie świadectwo z jakim zapałem uczyli się fizyki w szkole średniej, gdzie na lekcji jest pokazywane zjawisko powstawania *prążków interferencyjnych* dla fal o tej samej długości (i częstotliwości), ale o różnych źródłach emisji - w jednym miejscu jest oczywiście osłabienie fali, ale... tuż obok jest proporcjonalne **wzmocnienie!** :-)

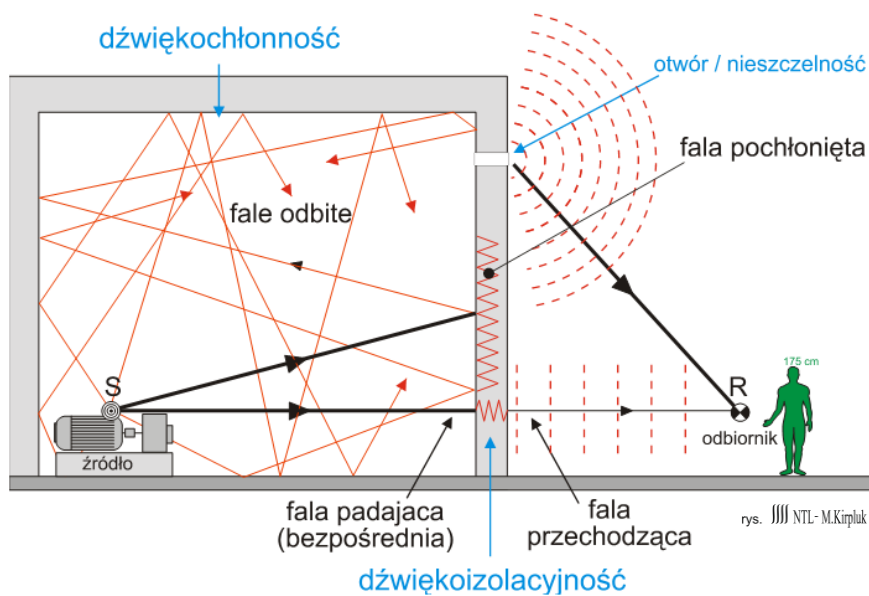
- **Fala stojąca** - to fala wygenerowana (wzbudzona) pomiędzy dwiema płaszczyznami równoległymi do siebie. Wskutek zjawisk fizycznych polegających na wielokrotnym odbiciu fali oraz na interferencji tych fal w przestrzeni generuje się pole o maksimach (strzałki) i minimach (węzły) ciśnienia akustycznego, które są odległe od siebie o  $\frac{1}{4}$  długości wygenerowanej fali.  
Uwaga: fale stojące mogą istotnie zafałszować wyniki pomiarów hałasu w przypadku niekorzystnie wybranego punktu obserwacji !

### 1.2.4. Dźwięki powietrzne i materiałowe

Rozróżnienie dźwięków przenikających przez przegrodę pod względem sposobu pobudzenia ośrodka przez źródło hałasu:

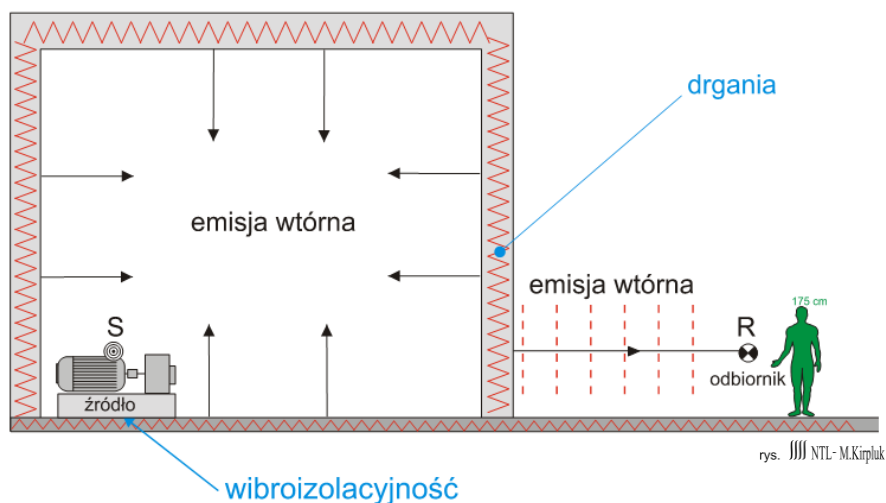
- **dźwięki powietrzne:**

- źródło pobudza otaczające je powietrze - tzn. fala akustyczna jest *emitowana* bezpośrednio ze źródła do jego otoczenia,
- fala akustyczna pada na przegrodę i ją przenika:
  - albo przez nieszczelności (otwory - transmisja bezpośrednia),
  - albo pobudza do drgań przegrodę i ta emituje wtórną falę akustyczną (transmisja pośrednia)



- **dźwięki materiałowe:**

- źródło pobudza konstrukcję z którą jest połączone poprzez **drgania**,
- drgania przenoszą się konstrukcyjnie na przegrodę,
- pobudzają przegrodę do drgań i ta emituje wtórną falę akustyczną (transmisja pośrednia)

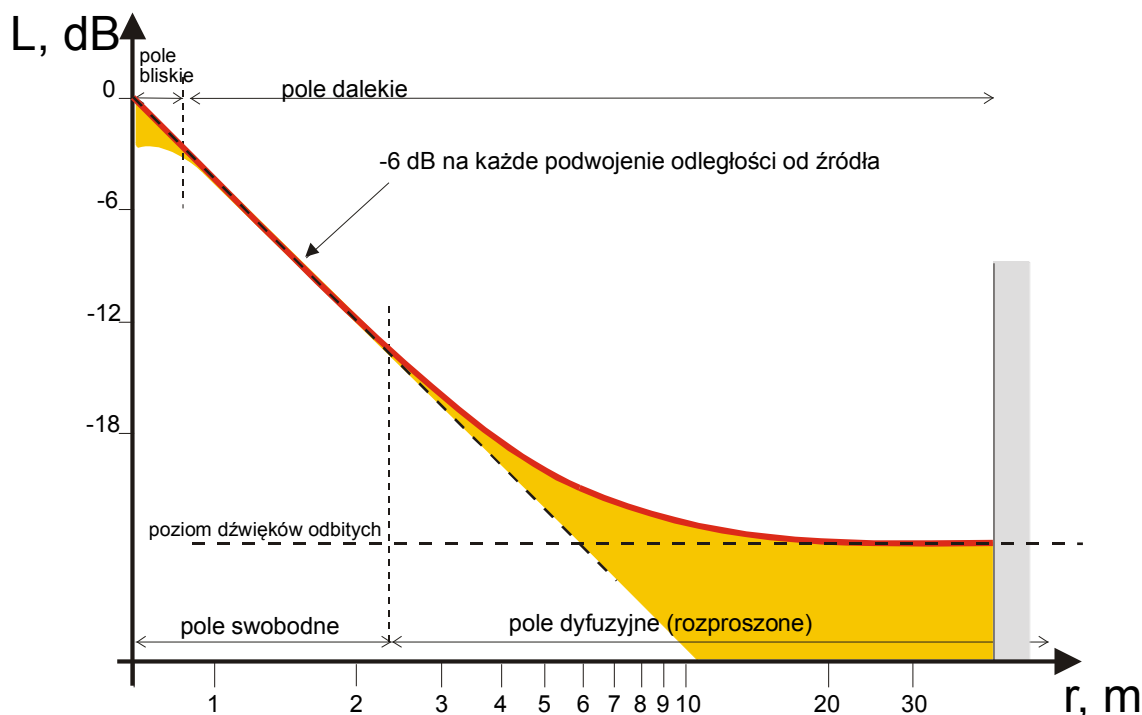




### 1.3. Klasyfikacja pól i sygnałów akustycznych

#### Pole akustyczne:

- **bliskie** - obszar pola bezpośrednio przylegający do źródła dźwięku, gdzie występują zjawiska nieliniowe (około 1 długości fali - dla 250 Hz jest to 2,5 m !!!).
- **dalekie** - obszar pola, w którym spadek poziomu dźwięku wynosi 6 dB na każde podwojenie odległości od źródła hałasu (dla fali sferycznej - od źródła punkowego)
- **swobodne** - pole w którym nie występują fale odbite,
- **dyfuzyjne** - pole w którym występuje duża liczba fal odbitych z różnych kierunków, co powoduje stały poziom dźwięku w całym obszarze

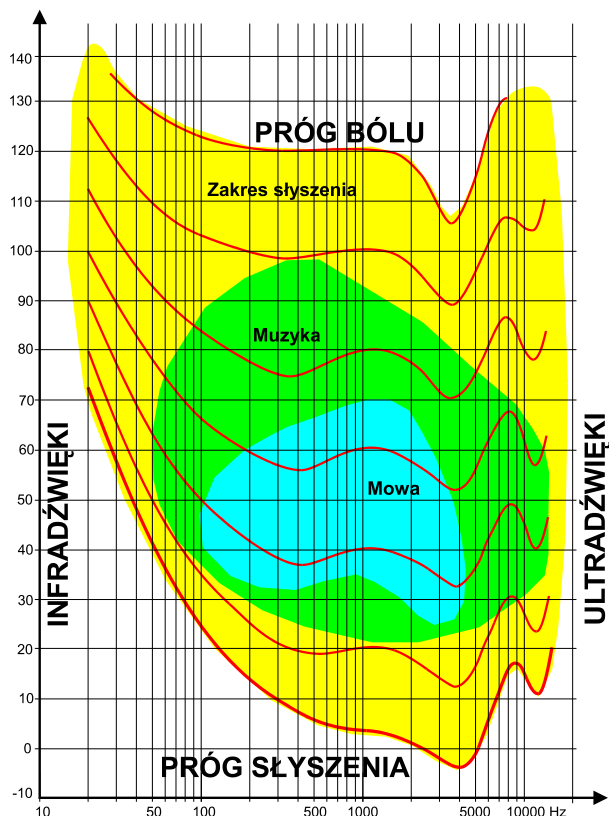
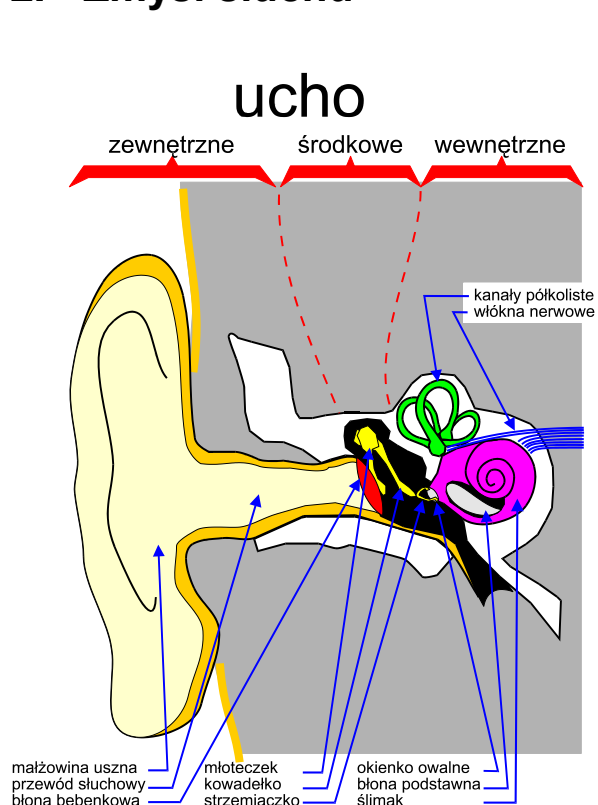


#### UWAGA:

Występuje jeszcze **pole ciśnieniowe** - spotykamy się z tym zjawiskiem kiedy nakładamy kalibrator (wzorcowe źródło dźwięku) na mikrofon miernika - czy to w celu kalibracji miernika (wzorcowanie jednopunktowe, wewnętrzna procedura laboratoryjna), czy też tylko dla sprawdzenia toru pomiarowego (poprawności wskazań zestawu pomiarowego).

Różnica pomiędzy **polem ciśnieniowym** (jaki występuje w kalibratorze) a **polem swobodnym** (w jakim będzie potem używany mikrofon) **wymaga (dla sygnału 1000 Hz) odjęcia** od wartości podanej na metryce kalibratora **0,15 dB** (wcześniej: 0,2 dB) i dla wyniku tego działania (ew. zaokrąglonego do 0,1 dB) wykonać kalibrację sprzętu.

## 2. Zmysł słuchu



### 2.1. Budowa ucha

#### - funkcje fizyczne:

- małżowina uszna - tuba
- przewód słuchowy - falowód
- błona bębenkowa - filtr mechaniczny i hermetyzacja układu
- ucho środkowe - wzmacniacz mechaniczny
- błona podstawna - analizator widmowy z konwerterem mechaniczno-elektrycznym
- kanały półkoliste - układ orientacji 3D (równowaga)
- trąbka Eustachiusza - wyrównywanie ciśnień

### 2.2. Słyszenie i postrzeganie dźwięku

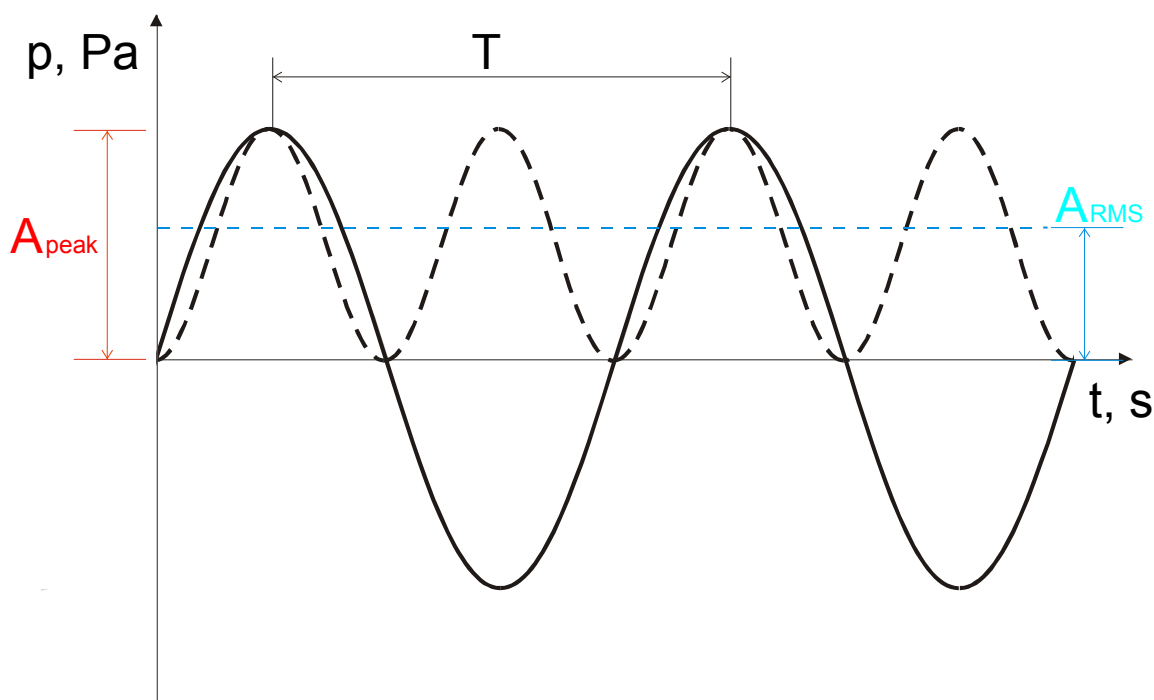
Budowa ucha zapewnia zmianę sygnału mechanicznego (fali akustycznej) na sygnał elektryczny (nerwowy) wraz z analizą amplitudową i częstotliwościową.

Postrzeganie dźwięku pozwala rozróżniać:

- **głośność dźwięku** - subiektywna ocena polegająca na porównaniu badanego dźwięku z tonem o częstotliwości 1000 Hz, wyrażana jako logarytm ze stosunku natężenia badanego dźwięku do natężenia odniesienia ( $10^{-12} \text{ W/m}^2$ ) i wyrażana w jednostkach nazywanych fonami (dla częstotliwości 1 kHz wartości liczbowe poziomu głośności w fonach i poziomu natężenia dźwięku w decybelach są takie same),
- **wysokość dźwięku** - określona przez częstotliwość fali akustycznej,
- **barwę dźwięku** - określona przez stosunek amplitud tonu podstawowego i tonów harmonicznnych.

### 3. Parametry akustyczne - definicje

#### 3.1. Wartość skuteczna (RMS) i szczytowa (PEAK)



#### Chwilowe ciśnienie akustyczne [cyt. p.3.1.6 normy PN-ISO 10843:2002]

- Całkowite ciśnienie chwilowe, w paskalach, w punkcie, przez który przechodzi fala akustyczna, pomniejszone o ciśnienie atmosferyczne w tym punkcie.

Uwaga 1: Ciśnienie chwilowe odnosi się do ciśnienia mierzonego mikrofonem, zanim nastąpi jakiegokolwiek przetwarzanie sygnału,

Uwaga 2: Wartości chwilowego ciśnienia akustycznego są zarówno dodatnie jak i ujemne!

#### Wartość skuteczna (RMS) ciśnienia akustycznego:

- średnia kwadratowa amplitudy ciśnienia z czasu obserwacji, tzn. pierwiastek ze średniego kwadratu amplitudy ciśnienia z czasu obserwacji,
- wartość skuteczna jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z ilości energii przenoszonej przez falę.

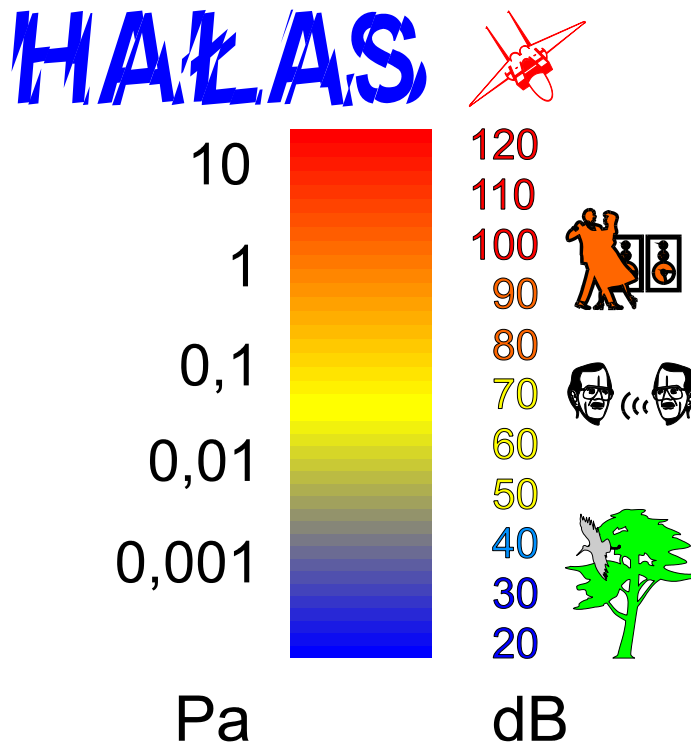
$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2 dt}$$

#### Wartość szczytowa (PEAK) ciśnienia akustycznego:

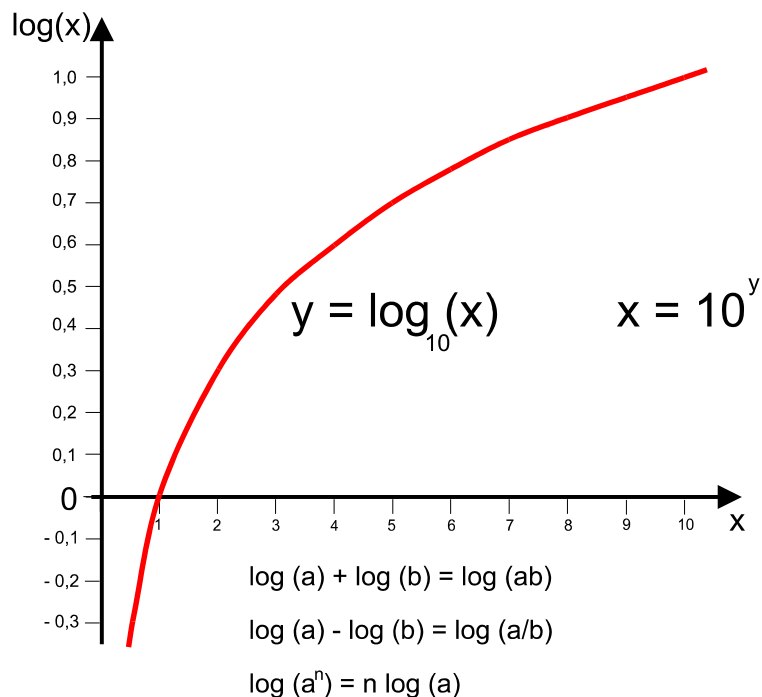
- maksymalna wartość amplitudy sygnału w czasie obserwacji (na rys.  $A_{peak}$ )

### 3.2. Poziom dźwięku i decybel

Ponieważ zakres zmian ciśnień fal akustycznych odbieranych przez ucho ludzkie mieści się w przedziale  $2 \cdot 10^{-5} \div 10^2$  Pa (czyli od 20  $\mu$ Pa do 1 hPa):



co obejmuje 8 rzędów wielkości (dla czynnika 10), to praktycznym sposobem wyrażania tych wielkości jest skala logarytmiczna - logarytm ze względu na swoje matematyczne własności pozwala wygodnie przedstawiać względne zmiany wartości:



Uwaga - chociaż istnieje:

### Prawo Webera-Fechnera

- zasada mówiąca o relacji pomiędzy fizyczną miarą bodźca a reakcją układu biologicznego. Dotyczy ono reakcji na bodźce takich zmysłów jak wzrok, słuch czy poczucie ciepła. Jest to zasada fenomenologiczna będąca wynikiem wielu obserwacji praktycznych i znajdująca wiele zastosowań technicznych:

**Wartość reakcji układu biologicznego jest proporcjonalna do logarytmu bodźca**

$$w = k \cdot \ln\left(\frac{B}{B_0}\right)$$

gdzie:

- $w$  - reakcja układu biologicznego (wrażenie zmysłowe)
- $B$  - natężenie danego bodźca
- $B_0$  - wartość początkowa natężenia danego bodźca
- $\ln$  - logarytm naturalny
- $k$  - współczynnik proporcjonalności

**Zmiana podstawy logarytmu (z  $\ln$  na  $\lg$ ):**

$$w = k \cdot \ln\left(\frac{B}{B_0}\right) = k \cdot \frac{\lg\left(\frac{B}{B_0}\right)}{\lg(e)} = \frac{k}{\lg(e)} \cdot \lg\left(\frac{B}{B_0}\right) = 2,30 \cdot k \cdot \lg\left(\frac{B}{B_0}\right)$$

to:

**Podstawą definicji „decybel” jest wygoda matematyczna i pomiarowa poprzez przyjęcie pewnych założeń umownych - tj. zastosowanie logarytmu dziesiętnego, a nie realizacja prawa Webera-Fechnera - bo ani temperatury, ani oświetlenia nie mierzymy w jednostkach logarymicznych, tylko przy pomocy jednostek „wygodnych” do fizycznego pomiaru!**

## Definicja podstawowa poziomu:

**Poziomem** (bezwzględny) danej wielkości fizycznej nazywamy logarytm dziesiętny ze stosunku danej wielkości (wyrażonej w sposób proporcjonalny do mocy) do ustalonej wartości odniesienia tej samej wielkości (identycznie wyrażonej).

Tak zdefiniowany poziom wyraża się w belach w postaci: [liczba] **Bel** [B].

*Ciekawostka: Połówka z logarytmu naturalnego ze stosunku dwóch wielkości to **Neper** [Np].*

### Uwaga:

Bel **nie jest jednostką fizyczną** - jest to „pseudojednostka” - poziom jest wielkością bezwymiarową!

Konsekwencją definicji poziomu jest to, że z metrologicznego punktu widzenia zdanie (w cudzysłowie) jest **nieprawdziwe (!)**:

„[...] Ze względów praktycznych używa się jednostki pochodnej, jaka jest:

**decybel:**  $1 \text{ dB} = 0,1 \text{ B}$  lub inaczej:  $10 \text{ dB} = 1 \text{ B}$  [...]”

- gdyż tak „zdefiniowana” podjednostka jest po prostu „nierówna” w zakresie 1B... !!!

- inaczej:  $1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB}+1\text{dB} \neq 1\text{B}$  !!!

### **Dla fali akustycznej:**

- wielkością proporcjonalna do mocy jest kwadrat ciśnienia akustycznego.

**Natomiast prawdziwe jest zdanie:** Ze względów praktycznych zdefiniowano:

**Poziom dźwięku wyrażony w decybelach** to 10 logarytmów dziesiętnych ze stosunku kwadratu ciśnienia akustycznego do kwadratu ciśnienia odniesienia równego  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2}, \text{ dB}$$

gdzie:  $p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

Uwaga: decybel, tak samo jak bel nie jest jednostką fizyczną!

### **UWAGA:**

Często w literaturze spotyka się zapis:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}, \text{ dB}$$

Zapis taki, choć z formalnie prawidłowy z matematycznego punktu widzenia, **traci sens fizyczny** – bowiem nie ciśnienie akustyczne (w pierwszej potęgce może być nawet ujemne!!!) tylko właśnie energia, która jest proporcjonalna do kwadratu ciśnienia akustycznego (i wielkości z nią związane, np. moc), z jednej strony jest wielkością addytywną, a z drugiej strony to przekaz energii powoduje skutki oddziaływań fizycznych na narząd słuchu czy cały organizm

Stąd próba obliczeń, np. sumy hałasu z kilku źródeł (sumowanie poziomów) lub niepewności wyników (przez różniczkowanie) prowadzi do błędów interpretacyjnych!

## UWAGA 1:

**Poziom dźwięku NIE JEST „wielkością fizyczną”** - jest umowną reprezentacją wielkości fizycznej przy wykorzystaniu funkcji logarytmicznej ze wszelkimi tego konsekwencjami:

- **nie wyraża się jako iloczyn liczby i jednostki miary:** np. 50 x 1dB
- **nie jest addytywny** - nie dodaje się algebraicznie - sumowanie poziomów polega na sumowaniu energii („suma logarytmiczna” poziomów),
- **różnica poziomów jest krotnością** - jest to różnica logarytmów! - i chociaż jest stosowana jako wskaźnik skuteczności akustycznej (np. dźwiękoizolacyjności, wyciszenia), to liczenie „wariancji” na różnicach poziomów nie ma sensu fizycznego (!),
- poziom dźwięku **nie reprezentuje wartości „zerowej”** - odpowiadającej braku emisji energii (wartość poziomu dąży do  $-\infty$ ).

## UWAGA 2:

**„Decybel” NIE JEST „jednostką miary”** - w poważnych międzynarodowych dokumentach metrologicznych np. VIM\* jest wyraźna definicja

**Jednostka miary** (*measurement unit*)

(VIM 1.9)

*Wielkość skalarna rzeczywista, zdefiniowana i przyjęta na mocy konwencji, zgodnie z którą inne wielkości tego samego rodzaju mogą być z nią porównywane w celu wyrażenia za pomocą liczby ilorazu dwóch wielkości.*

**(jest to fatalne tłumaczenie! - oryginał angielski brzmi:**

*„real scalar quantity, defined and adopted by convention, with which any other quantity of the same kind can be compared to express the ratio of the two quantities as a number”*

**co powinno być przetłumaczone:**

*„Wielkość skalarna rzeczywista, zdefiniowana i przyjęta na mocy konwencji, zgodnie z którą dowolna inna wielkość tego samego rodzaju może być z nią porównywana poprzez wyrażenie ilorazu dwóch wielkości jako liczby (lub: w postaci liczby)”*

UWAGA 3 (fragment VIM 1.9): Jednostki miary **wielkości o wymiarze jeden** są liczbami.[...] np. decybel [...].

\*VIM - Przewodnik PKN-ISO/IEC Guide 99 (kwiecień 2010) „Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane (VIM)”.

- jest to tłumaczenie angielskiej wersji -ISO/IEC Guide 99:2007 - VIM 3rd edition - International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (2007),

### 3.3. Ekspozycja względna

Wielkość:

$$E = \frac{p^2}{p_0^2} = 10^{\frac{L}{10}}$$

gdzie:

$p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

$p$  - ciśnienie akustyczne badanego dźwięku

$L$  - poziom badanego dźwięku w dB.

będziemy nazywać **ekspozycją względną**, czyli

- **poziom dźwięku** jest to 10-krotność logarytmu dziesiętnego z **ekspozycji względnej**:

$$L_p = 10 \cdot \lg E, \text{ dB}$$

**Ekspozycja względna jest wielkością fizyczną** (energetyczną) proporcjonalną do mocy, wyrażoną w jednostkach bezwymiarowych jako wielokrotność kwadratu ciśnienia odniesienia  $p_0$  - jest addytywna i multiplikatywna arytmetycznie.



### 3.4. Działania matematyczne na poziomach dźwięku

Ponieważ wszelkie oddziaływania akustyczne mają charakter energetyczny, to operacjom matematycznym w zakresie działań podstawowych (suma, różnica, iloczyn, iloraz) musi być poddawana energia związana z tymi oddziaływaniami (jakkolwiek wyrażona - ale koniecznie w jednostkach proporcjonalnych do energii!)

#### 3.4.1. Suma poziomów (patrz też 3.9)

W celu określenia łącznego oddziaływania dwóch fal akustycznych o danych poziomach ciśnienia akustycznego (poziomach dźwięku) należy zsumować arytmetycznie ich ekspozycje względne.

Rachunek jest przeprowadzany w następujący sposób:

**Krok 1**  $E_1 = 10^{\frac{L_1}{10}}$   $E_2 = 10^{\frac{L_2}{10}}$  (...„odlogarytmujemy”...)\*

**Krok 2**  $E = E_1 + E_2$  (...wykonujemy działania matematyczne)

**Krok 3**  $L_p = 10 \cdot \lg E$  (...„logarytmujemy”...)\*

\* slang „akustyczny”: obejmuje w działaniach dzielenie poziomu przez 10 albo mnożenie logarytmu przez 10!

W efekcie możemy to zapisać jednym wzorem:

$$L_{suma} = 10 \cdot \lg(10^{0.1 \cdot L_1} + 10^{0.1 \cdot L_2})$$

**Ale nie zmienia to wyżej wymienionego schematu działania !!!**

#### 3.4.2. Różnica poziomów

W celu określenia różnicy oddziaływania dwóch fal akustycznych o danych poziomach ciśnienia akustycznego (poziomach dźwięku) (uwaga: poziom  $L_1 > L_2$  !) należy odjąć arytmetycznie ich ekspozycje względne.

Rachunek jest przeprowadzany w następujący sposób:

**Krok 1**  $E_1 = 10^{\frac{L_1}{10}}$   $E_2 = 10^{\frac{L_2}{10}}$  (...„odlogarytmujemy”...)

**Krok 2**  $E = E_1 - E_2$  (...wykonujemy działania matematyczne)

**Krok 3**  $L_p = 10 \cdot \lg E$  (...„logarytmujemy”...)

W efekcie możemy to zapisać jednym wzorem:

$$L_{roznica} = 10 \cdot \lg(10^{0.1 \cdot L_1} - 10^{0.1 \cdot L_2})$$

**Ale nie zmienia to wyżej wymienionego schematu działania !!!**

### 3.4.3. Różnica poziomów - poprawka $K_1$

Możemy też wykorzystać inny wzór - pojawia się w wielu normach:

$$L_{1-2} = L_1 - K_1$$

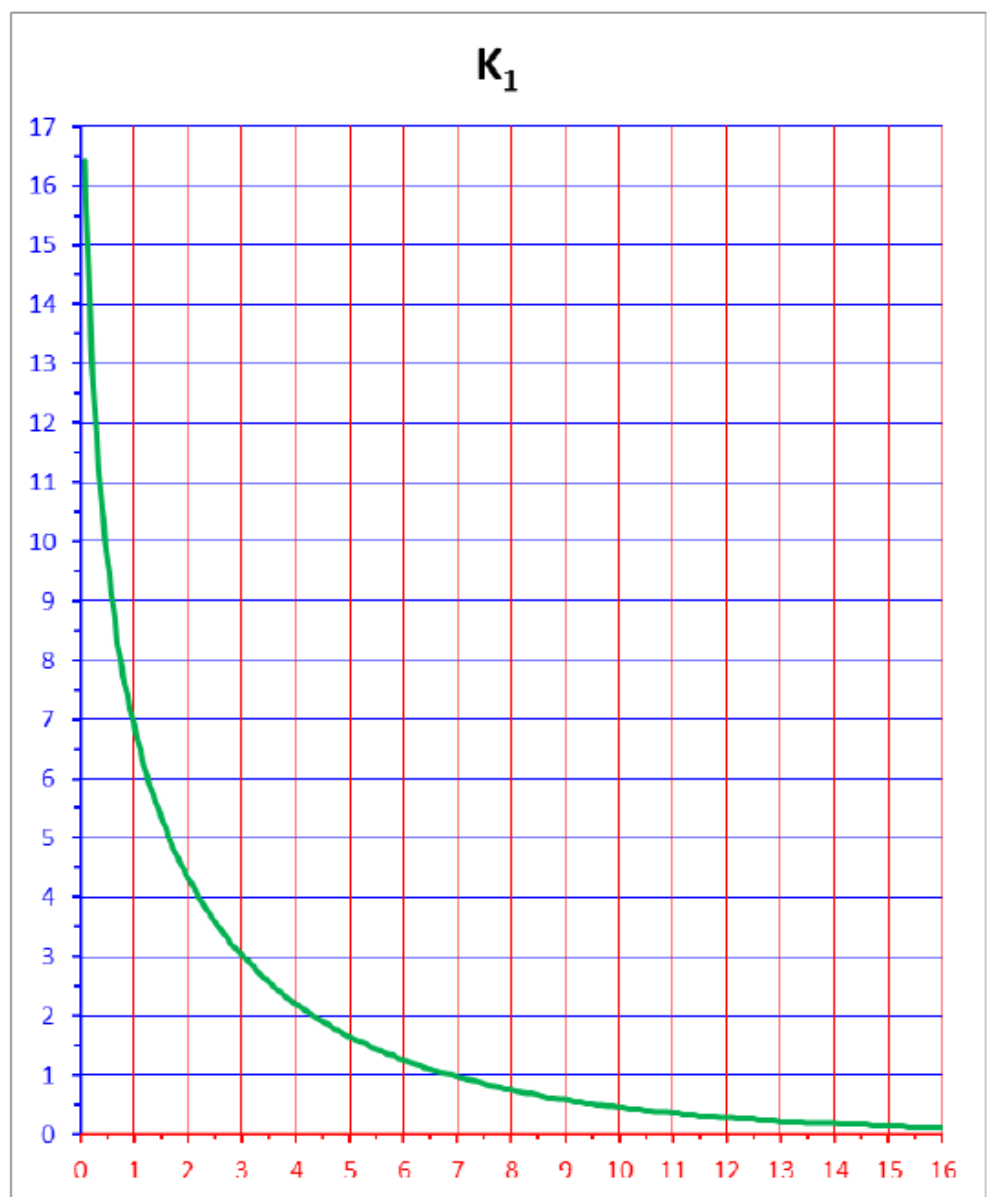
gdzie:

$$K_1 = -10 \cdot \lg\left(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L}\right)$$

gdzie:  $\Delta L = L_1 - L_2$

Poniżej tabela wartości poprawki  $K_1$  oraz nomogram:

$\Delta L$	$K_1$
0,1	16,4
0,2	13,5
0,5	9,6
1,0	6,9
1,5	5,3
2,0	4,3
2,5	3,6
3,0	3,0
3,5	2,6
4,0	2,2
4,5	1,9
5,0	1,7
5,5	1,4
6,0	1,3
6,5	1,1
7,0	1,0
7,5	0,9
8,0	0,7
8,5	0,7
9,0	0,6
9,5	0,5
10,0	0,5
10,5	0,4
11,0	0,4
11,5	0,3
12,0	0,3
12,5	0,3
13,0	0,2
13,5	0,2
14,0	0,2
14,5	0,2
15,0	0,1

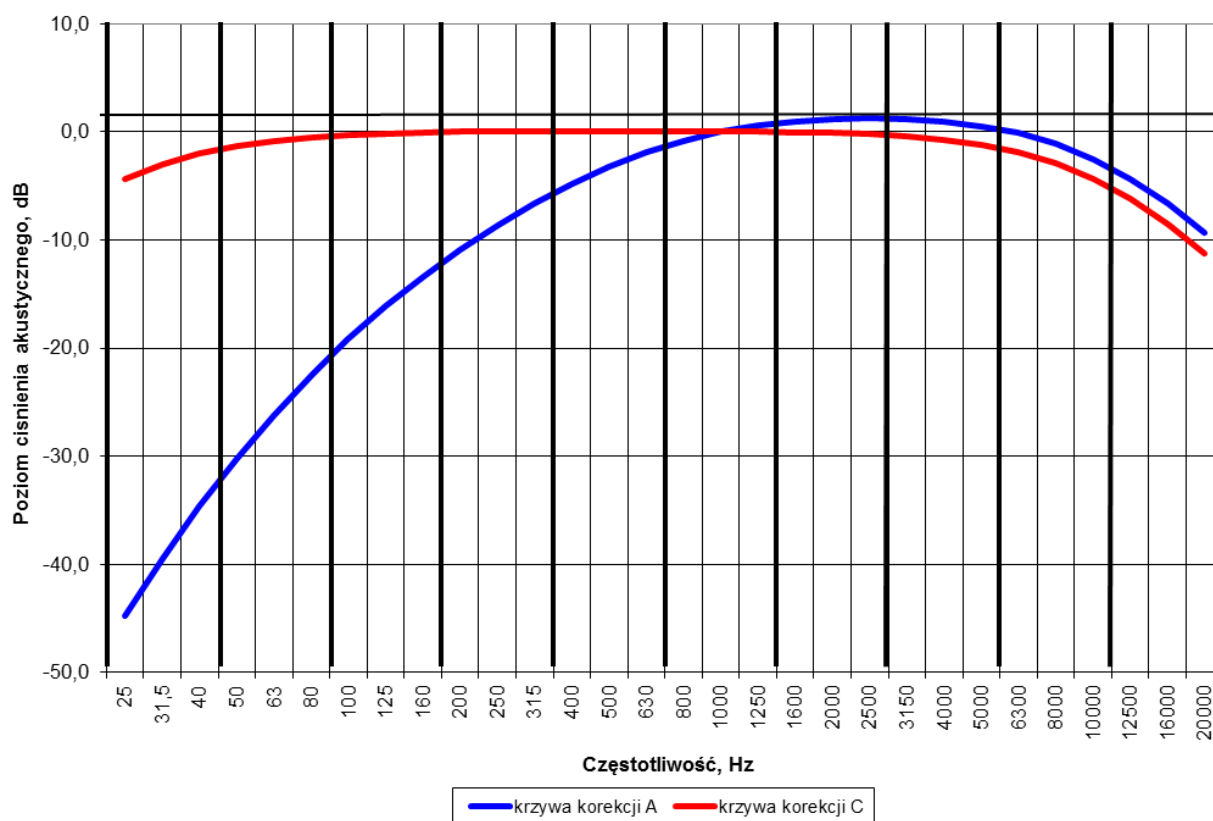


### 3.5. Korekcja częstotliwościowa (LIN lub Z, A, C)

Pomiar w pełnym paśmie akustycznym (LIN, Z) to pomiar ciśnienia akustycznego bez żadnej korekcji, natomiast pomiar z użyciem korekcji częstotliwościowej A lub C polega na dodaniu odpowiednich poprawek do zmierzonych wartości w zależności od częstotliwości sygnału (realizuje się to poprzez filtry - nazywane często filtrem A lub odpowiednio C albo LIN lub Z).

Współczynniki korekcji A i C przedstawiono w poniższej tabeli oraz na rysunku:

Krzywe korekcyjne

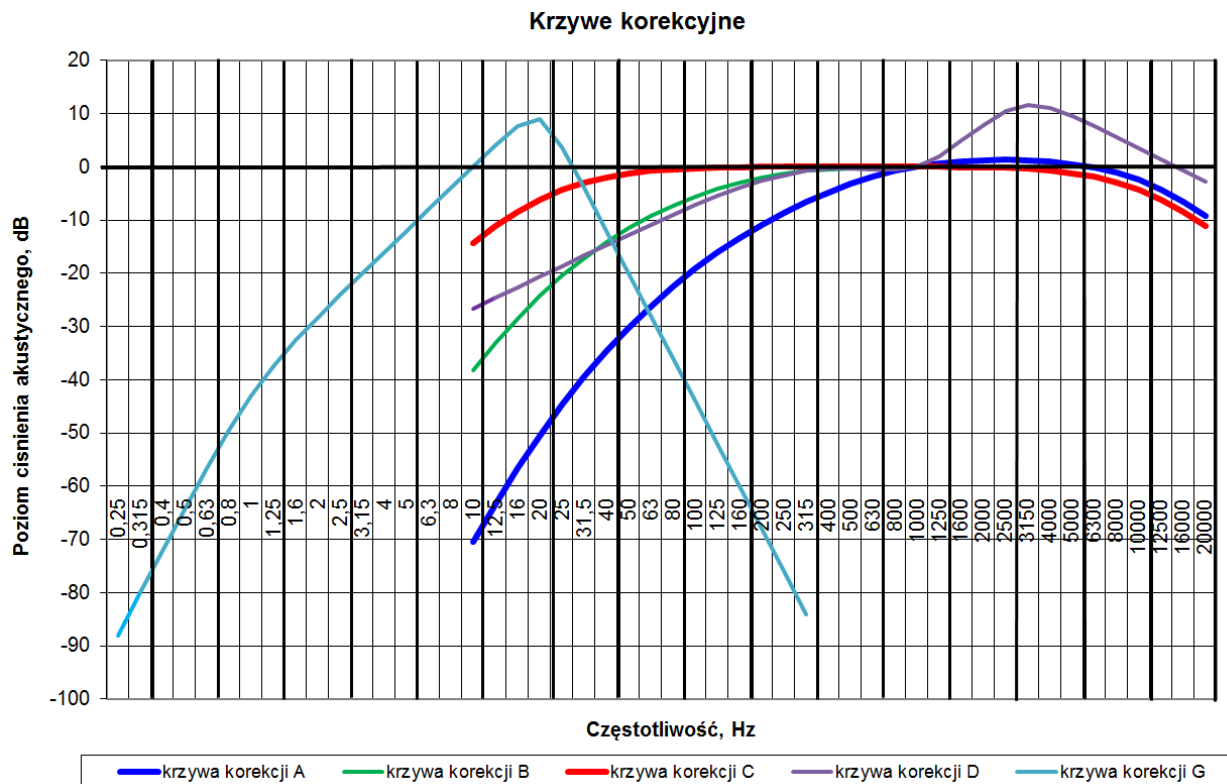


Interpretacja fizyczna krzywych korekcji:

- **korekcja częstotliwościowa A** odpowiada charakterystyce krzywej progu słyszenia człowieka, tj. odzwierciedla małą wrażliwość na niskie częstotliwości – zaprojektowana do pomiaru niskich poziomów dźwięku.
- **korekcja częstotliwościowa C** odpowiada charakterystyce słyszenia człowieka dla wyższych poziomów dźwięku (>80 dB).

### 3.6. Inne krzywe korekcyjne

Poniżej wykresy innych krzywych korekcji częstotliwościowych:



Funkcjonowały krzywe korekcyjne B (pomiędzy A i C) oraz D (dla hałasów lotniczych).

Krzywa korekcyjna G służy do oceny hałasów niskoczęstotliwościowych - praktycznie w zakresie 10÷20 Hz.

Wartości liczbowe zestawiono w załącznikach na końcu skryptu.

### 3.7. Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej

#### 3.7.1. Poziom ciśnienia akustycznego

Poziom ciśnienia akustycznego wyrażony w decybelach [dB], to dziesięć logarytmów dziesiętnych ze stosunku kwadratu ciśnienia akustycznego (wielkość proporcjonalna do mocy) do kwadratu ciśnienia odniesienia, wynoszącego  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz).

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2}, \text{ dB}$$

gdzie:  $p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

#### Uwagi:

1. Poziom ciśnienia akustycznego powinien być określany dla zakresu częstotliwości - może to być zakres LIN (20Hz-20kHz) albo oktawy lub tercje !!!
2. Poziom ciśnienia akustycznego ma sens fizyczny tylko wtedy, gdy jest jednocześnie określony punkt obserwacji (lokalizacja w terenie lub odległość od źródła) !!!

#### 3.7.2. Poziom dźwięku A

Poziom dźwięku A jest to poziom ciśnienia akustycznego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcyjną A.

$$L_{pA} = 10 \cdot \lg \frac{p_A^2}{p_0^2}, \text{ dB}$$

gdzie:  $p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

Analogicznie - poziom dźwięku C - dla krzywej korekcyjnej C.

#### Uwaga:

Poziom dźwięku ma sens fizyczny tylko wtedy, gdy jest jednocześnie określony punkt obserwacji (lokalizacja w terenie lub odległość od źródła) !!!

### 3.7.3. Maksymalny poziom dźwięku A przy stałej czasowej SLOW

Maksymalny poziom dźwięku A jest to poziom **maksymalnej wartości RMS ciśnienia akustycznego** (w czasie obserwacji / pomiaru) - **z uwzględnieniem stałej czasowej SLOW** - dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcyjną A:

$$L_{AS \max} = 10 \cdot \lg \frac{P_{A,S,RMS}^2}{P_0^2}, \text{ dB}$$

gdzie:  $p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

Analogicznie: --  $L_{AFmax}$  - dla dla krzywej korekcyjnej A i stałej czasowej FAST  
 --  $L_{CFmax}$  - dla dla krzywej korekcyjnej C i stałej czasowej FAST  
 --  $L_{CSmax}$  - dla dla krzywej korekcyjnej C i stałej czasowej SLOW

### 3.7.4. Szczytowy poziom dźwięku C

Szczytowy poziom dźwięku C jest to poziom **maksymalnej amplitudy ciśnienia akustycznego** - inaczej: **wartości szczytowej** - (w czasie obserwacji / pomiaru) dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcyjną C:

$$L_{Cpeak} = 10 \cdot \lg \frac{P_{C,peak}^2}{P_0^2}, \text{ dB}$$

gdzie:  $p_0$  - ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz)

Analogicznie - szczytowy poziom dźwięku A - dla krzywej korekcyjnej A.

### 3.7.5. Wzorcowy poziom dźwięku (ozn.: $L_{nT}$ )

ang.: *Standardized Sound Level*

Poziom dźwięku skorygowany względem **czasu pogłosu pomieszczenia** z odniesieniem do wzorcowej wartości  $T_0=0,5$  s ([akustyka wewnątrz - poziom powołany w nowym wydaniu normy PN-B-02151 2:2018-01](#))

$$L_{nT} = L - 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0}, \text{ dB}$$

gdzie:

$L$  - poziom ciśnienia akustycznego - może być  $L_{Aeq}$ ,  $L_{ASmax}$  lub  $L_{AFmax}$ ,  $L_{oct}$ , i inne.

$T$  - czas pogłosu [s]

$T_0$  - czas odniesienia,  $T_0=0,5$  s

### 3.7.6. Poziom mocy akustycznej

ang.: *A-weighted Equivalent Sound Power Level*

Definicja formalna

Równoważny poziom mocy akustycznej badanego źródła, jest to wartość dziesięciu logarytmów dziesiętnych ze stosunku mocy akustycznej dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, do ciśnienia mocy akustycznej odniesienia, w określonym przedziale czasu odniesienia  $T$ .

Poziom mocy akustycznej jest to wielkość określona wzorem:

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{W}{W_0}, \text{ dB}$$

gdzie:  $W_0$  - moc odniesienia  $10^{-12}$  W (odpowiada progowi słyszenia dla 1000 Hz)

Uwaga:

Poziom mocy jest jednoliczbowym i jednoznacznym parametrem charakteryzującym zdolność źródła do emisji dźwięku !!!

Zależność pomiędzy poziomem mocy akustycznej źródła a poziomem dźwięku w przestrzeni otaczającej źródło jest opisana wzorem<sup>1</sup>:

$$L_p = L_W - 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0}, \text{ dB}$$

gdzie:

- $L_W$  - poziom mocy akustycznej źródła hałasu
- $S$  - powierzchnia fali dźwiękowej otaczająca źródło
- $S_0$  - powierzchnia odniesienia  $1 \text{ m}^2$
- $L_p$  - poziom dźwięku na powierzchni  $S$

UWAGA:

Rozwinięcie analityczne ze wzorów podstawowych ma postać zależną od gęstości powietrza i od prędkości dźwięku w powietrzu (czyli pośrednio od temperatury i wilgotności powietrza):

$$L_p = L_W - 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{S}{S_0} \right) + 10 \cdot \log_{10} (\rho \cdot c) - 26,0$$

Dla powietrza w temperaturze  $20^\circ\text{C}$  impedancja charakterystyczna ośrodka wynosi  $\rho c = 407 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , z której dziesięciokrotny logarytm wynosi ok. 26,1 (dzięki odpowiedniemu doborowi wartości odniesienia dla poziomu dźwięku i dla poziomu mocy akustycznej)

<sup>1</sup> wzór przybliżony - prawdziwy dla powietrza w warunkach normalnych!

### 3.7.7. Poziom A energii akustycznej

ang.: *A-weighted Sound Energy Level*

*Definicja formalna*

Poziom energii akustycznej badanego źródła, jest to wartość dziesięciu logarytmów dziesiętnych ze stosunku energii akustycznej dźwięku (badanego **zdarzenia akustycznego**), skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, do energii akustycznej odniesienia.

$$L_{JA} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{J_A}{J_0} \right], dB$$

gdzie:

$J_A$  - energia akustyczna źródła (skorygowana względem charakterystyki częstotliwościowej A)

$J_0$  - energia akustyczna odniesienia  $J_0 = 10^{-12}$  J (=1pJ)

*Definicja pojęciowa*

Energia akustyczna zdarzenia akustycznego to całka po czasie z mocy akustycznej.

Uwaga:

Poziom energii jest jednoliczbowym i jednoznacznym parametrem charakteryzującym zdolność źródła do emisji dźwięku będącego zdarzeniem akustycznym !!!

Zależność pomiędzy **poziomem energii akustycznej** źródła a **poziomem dźwięku w przestrzeni** otaczającej źródło jest opisana wzorem:

$$L_E = L_J - 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0}, dB$$

gdzie:

- $L_J$  - poziom energii akustycznej źródła hałasu
- $S$  - powierzchnia fali dźwiękowej otaczająca źródło
- $S_0$  - powierzchnia odniesienia  $1 \text{ m}^2$
- $L_E$  - poziom ekspozycyjny dźwięku (SEL) na powierzchni S



Przypadki szczególne:1. **Źródło punktowe**

- powierzchnia (fala) sferyczna

$$S = 4 \pi R^2$$

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log_{10}(R^2) - 10 \cdot \log_{10}(4\pi)$$

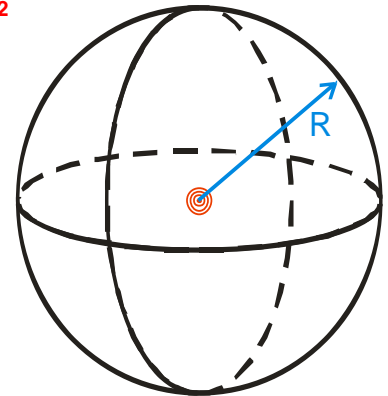
$$L_p = L_w - 20 \cdot \log_{10}(R) - 11,0$$

... a nad powierzchnią odbijającą:

$$L_p = L_w - 20 \cdot \log_{10}(R) - 8$$

Ogólnie:

$$L_p = L_w - 11 + K_0 - 20 \cdot \lg R - \Delta...$$



stąd zależność poziomu dźwięku od odległości:

$$L(r_2) = L(r_1) - 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}$$

skutkująca zasadą:

**6 dB spadku na każde podwojenie odległości !**2. **Źródło liniowe o długości  $H \gg R$** 

- powierzchnia (fala) cylindryczna

$$S = 2 \pi R H$$

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log_{10}(H) - 10 \cdot \log_{10}(R) - 10 \cdot \log_{10}(2\pi)$$

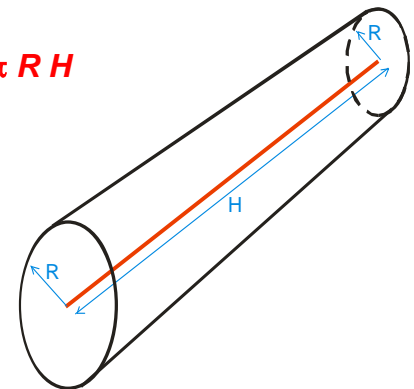
$$L_p = L_{w1m} - 10 \cdot \log_{10}(R) - 8,0$$

...a nad powierzchnią odbijającą:

$$L_p = L_{w1m} - 10 \cdot \log_{10}(R) - 5$$

Ogólnie:

$$L_p = (L_w - 10 \cdot \lg H) - 8 + K_0 - 10 \cdot \lg R - \Delta...$$



stąd zależność poziomu dźwięku od odległości:

$$L(r_2) = L(r_1) - 10 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}$$

skutkująca zasadą:

**3 dB spadku na każde podwojenie odległości !**3. **Źródło powierzchniowe  $R \ll \sqrt{ah}$** 

- płaszczyzna prostokątna (fala płaska)

$$S = a \times h$$

(np. w kanale powietrznym, otwór bramy, ściana)

- brak spadku poziomu - z reguły pole bliskie !

**Przy takim samym poziomie dźwięku - poziom mocy źródła zależy od powierzchni !**

### 3.8. Poziom równoważny, ekspozycyjny, długotrwały średni

**zawsze podawany dla określonego czasu obserwacji  $T$**

#### 3.8.1. Poziom równoważny ( $L_{eq}$ lub LEQ) - definicja

**Równoważny poziom dźwięku** A analizowanego dźwięku, jest to uśredniona w czasie obserwacji wartość dziesięciu logarytmów dziesiętnych ze stosunku średniego kwadratu ciśnienia akustycznego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, do kwadratu ciśnienia odniesienia  $p_0$ , w określonym przedziale czasu odniesienia  $T$ :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right], dB$$

gdzie:

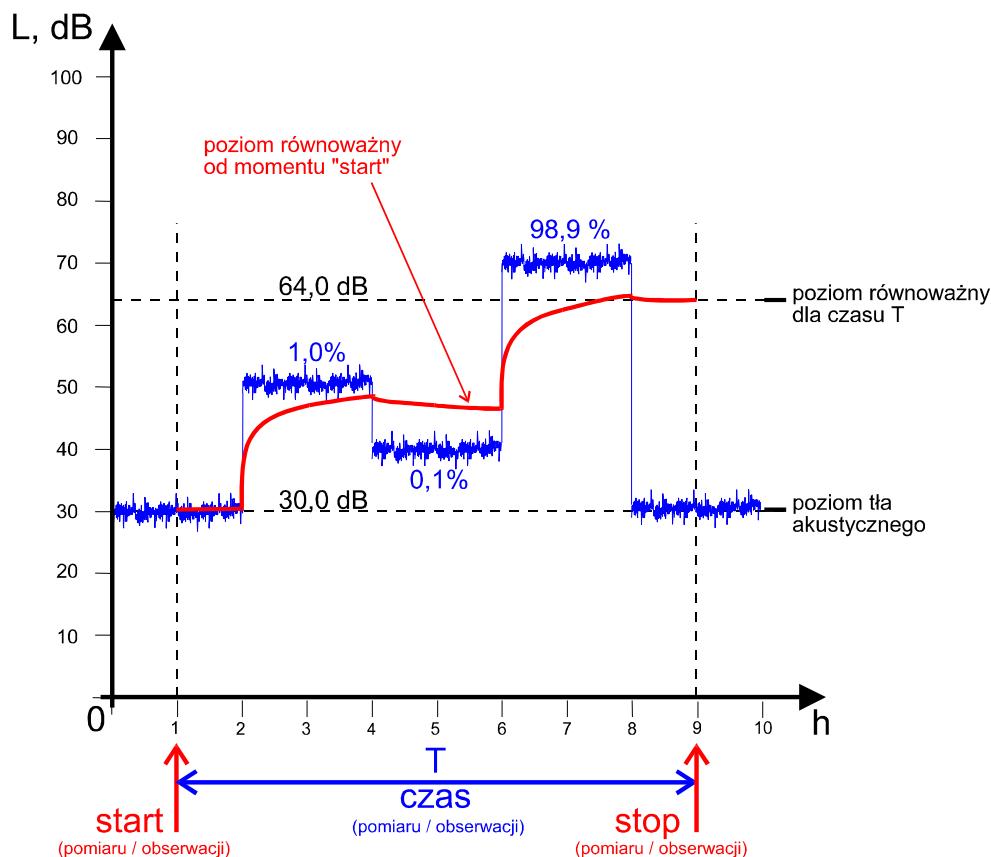
- $T$  - czas obserwacji  $T = t_2 - t_1$
- $p_A$  - mierzone ciśnienie akustyczne (skorygowane względem charakterystyki częstotliwościowej A)
- $p_0$  - wartość ciśnienia odniesienia  $p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

INACZEJ (dla znanego przebiegu wartości poziomu  $L_A$  w czasie):

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \cdot L_A(t)} dt \right], dB$$

gdzie:

- $T$  - czas obserwacji  $T = t_2 - t_1$
- $L_A$  - chwilowy poziom dźwięku A



Praktycznie się stosuje wzór następujący:

- dla  $N$  sytuacji akustycznych w czasie obserwacji  $T$ ,
- każda o poziomie  $L_{Ai}$  trwająca przez czas  $t_i$ :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Ai}(t)} \right], dB$$

Czasy  $t_i$  i czas  $T$  muszą być wyrażone w tych samych jednostkach czasu!

**Uwaga:**

- rachunek jest faktycznie **arytmetyczną średnią ważoną** (czasem) dla wielkości składowych wyrażonych jako **ekspozycje względne**, której wynik logarytmujemy przy podstawie dziesięć i następnie mnożymy przez liczbę dziesięć.

### 3.8.2. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do czasu 8-godzinnego dnia pracy (dzienny poziom ekspozycji na hałas)

ang.: *A-weighted noise exposure level normalized to an 8 h working day (daily noise exposure level)*

*Definicja formalna*

hałas w miejscu pracy: poziom dźwięku, w decybelach, określony równaniem:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \cdot \lg \left[ \frac{T_e}{T_0} \right], dB$$

gdzie:

$L_{Aeq,T_e}$  - równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (in. *równoważny poziom dźwięku A*) w przedziale czasowym  $T_e$

$T_0$  - czas odniesienia,  $T_0=8h$  (=480min=28800s)

$T_e$  - efektywny czas trwania danej sytuacji akustycznej wyrażony identycznie jak  $T_0$

*Definicja pojęciowa*

Dawka hałasu jako wartość uśredniona energetycznie odniesiona do normatywnych 8-godzin.

Uwaga:

Poziom ekspozycji na hałas MOŻE być większy od zmierzonego równoważnego poziomu dźwięku A, gdy  $T_e > T_0$

**Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do nominalnego tygodnia czasu pracy:**

- określać obliczeniowo - uśrednienie energetyczne wartości dziennych - na podstawie wzoru:

$$\bar{L}_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{5} \sum_{x=1}^5 10^{0,1 \times L_{EX,8h,x}} \right)$$

### 3.8.3. Poziom ekspozycyjny ( $L_{AE}$ lub SEL) - definicja

(SEL: *Sound Exposure Level* - ale też czytany jako: *Single Event Level*)

Definicja analogiczna jak dla poziomu równoważnego, z zastrzeżeniem, że przeliczenie następuje zamiast dla czasu obserwacji  $T$  - na umowny czas odniesienia 1s (dobrze charakteryzuje pojedyncze zdarzenia akustyczne):

**Ekspozycyjny poziom dźwięku**  $A$  analizowanego dźwięku, jest to uśredniona w czasie obserwacji wartość dziesięciu logarytmów dziesiętnych ze stosunku średniego kwadratu ciśnienia akustycznego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej  $A$ , do kwadratu ciśnienia odniesienia  $p_0$ , odniesiona do umownego czasu odniesienia 1s.

$$L_{AE} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right], dB$$

gdzie:  $t_2 - t_1$  - czas obserwacji  $T$   
 $t_0$  - czas odniesienia równy 1s  
 $p_A, p_0$  - jak wyżej

*Definicja pojęciowa*

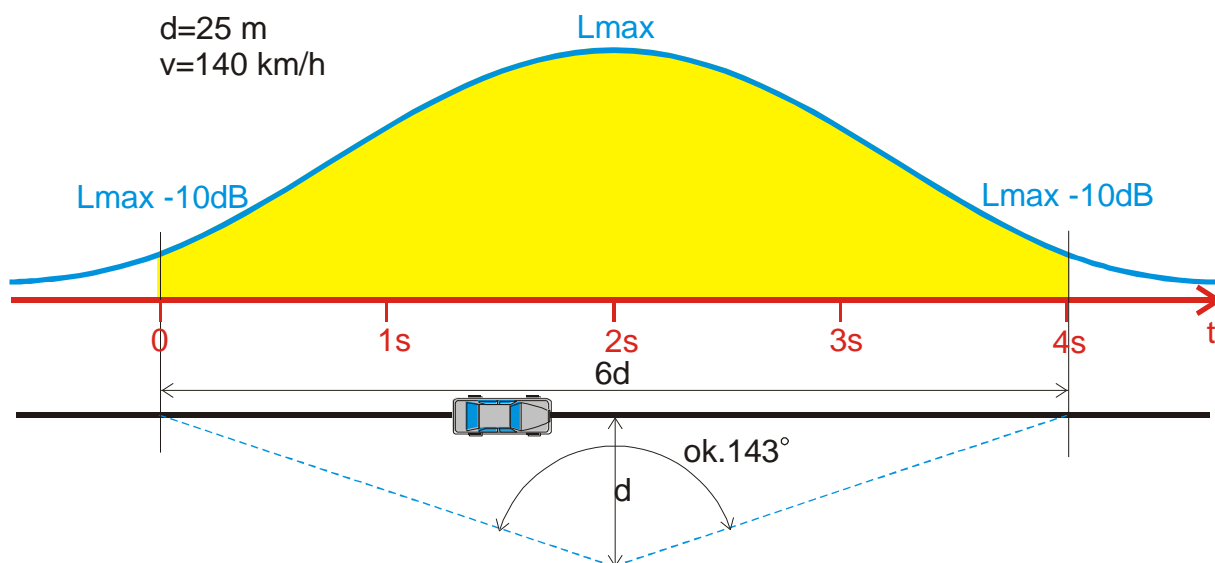
Dawka hałasu jako wartość uśredniona energetycznie odniesiona do 1 sekundy.

Poziom SEL nadaje się do charakteryzowania **pojedynczych zdarzeń akustycznych** - niezależnie od faktycznego czasu ich trwania!

**UWAGA:**

- zasada pomiaru poziomu SEL polega na tym, żeby wybrać taki moment początku i końca pomiaru, żeby poziom maksymalny (w sensie odczytu wartości SPL albo pojedynczej próbki przy rejestracji sygnału) podczas pomiaru zdarzenia był co najmniej o 10 dB wyższy od poziomów chwilowych (rozumianych j.w. - czyli jako SPL albo wartość poziomu próbki) na początku i końcu pomiaru.

**Taka zasada pomiaru powoduje, że jest to pomiar EMISJI, bez wpływu tła akustycznego!**



### 3.8.4. Obliczanie poziomu równoważnego

#### 3.8.4.1. dla znanych poziomów równoważnych:

- w poszczególnych odcinkach czasu (wtedy  $T = \sum t_i$ ),
- w poszczególnych sytuacjach akustycznych występujących w tym samym czasie obserwacji.

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{T} \sum_i t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right)$$

gdzie :

- $T$  - czas obserwacji: kolejne 8 godz. dla dnia lub 1 godz. dla nocy
- $t_i$  - czas emisji poszczególnych poziomów hałasu,
- $L_i$  - poziomy LEQ hałasu w odcinkach czasowych  $t_i$

UWAGA:

- wzór stosuje się zarówno do poziomu dźwięku jak i poziomu mocy akustycznej!

#### 3.8.4.2. dla znanych poziomów ekspozycyjnych:

- w poszczególnych sytuacjach akustycznych występujących w tym samym czasie obserwacji.

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{T} \sum_i 10^{0.1 \cdot L_{AE i}} \right)$$

gdzie :

- $T$  - czas obserwacji: kolejnych 8 godzin dla dnia (28800s) lub 1 godz. dla nocy (3600s) lub 16 godzin dla dnia (57600s) lub 8 godzin dla nocy (28800s)
- $L_{AE i}$  - poziomy SEL hałasu i-tego zdarzenia w czasie obserwacji

STĄD

- możemy określić czas pomiaru na podstawie wyniku LEQ i SEL (np. przy pomiarze miernikiem Brüel & Kjær 2230):

$$T = \frac{10^{\frac{SEL}{10}}}{10^{\frac{LEQ}{10}}}$$

- możemy określić **LEQ** dla znanej liczby zdarzeń **n** o znanym poziomie **SEL** :

$$L_{eq} = L_{AE} - 10 \cdot \lg T + 10 \cdot \lg n$$

- lub ogólniej:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{T} \sum_i n_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_{AE i}} \right)$$

gdzie :

- $T$  - czas obserwacji lub czas odniesienia [s]
- $L_{AE i}$  - średnie poziomy ekspozycyjne SEL hałasu i-tej klasy zdarzeń w czasie obserwacji
- $n_i$  - liczba zdarzeń i-tej klasy w czasie obserwacji

### 3.8.5. Obliczanie poziomu długotrwałego średniego

Poziom ten oblicza się dla znanych wartości  $L_{Aeq,T}$  dla ustalonego czasu odniesienia (np. dzień, noc), określonych w cyklicznych odcinkach czasowych (tzw. „próbki” - w cyklach co 24h, tydzień, miesiąc) dla czasu uśredniania będącego wielokrotnością przyjętych cykli (dla tygodnia, miesiąca, pół roku, roku):

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{N} \sum_i 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,T i}} \right)$$

gdzie :

- $N$  - liczba próbek dla tego samego czasu odniesienia w okresie uśredniania  
 $L_{Aeq,T i}$  - równoważny poziom dźwięku A dla i-tej próbki

#### Uwaga:

Powyższy wzór jest wzorem na tzw. „średnią logarytmiczną” poziomów dźwięku - odpowiada to **średniej arytmetycznej energii**. tj. z wartości składowych **ekspozycji względnych !!!**

### 3.8.6. Poziom dziennie-wieczorno-nocny $L_{DWN}$ (**LDEN**)

Formalnie powinno być: *wskaźnik poziomu dziennie-wieczorno-nocnego*

Określa się poziomy długookresowe dla całego roku w podziale na pory:

- poziom równoważny dla dnia - od 06:00 do 18:00,
- poziom równoważny dla wieczoru - od 18:00 do 22:00,
- poziom równoważny dla nocy - od 22:00 do 06:00,

Następnie:

- poziom równoważny dla 12 godzin dnia pozostawia się bez zmian,
- do poziomu równoważnego dla 4 godzin wieczoru dodaje się 5 dB,
- do poziomu równoważnego dla 8 godzin nocy dodaje się 10 dB,

i dla tak określonych danych określa się poziom równoważny na 24 godziny:

$$L_{DWN} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{24} \cdot \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_D}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_W + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_N + 10}{10}} \right) \right]$$

#### Uwaga:

Powyższy wzór jest specyficzną „**logarytmiczną średnią ważoną**” wybranych poziomów - odpowiada to niżej podanemu uśrednianiu:

$$L_{DWN} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{2} \cdot 10^{\frac{L_D}{10}} + \frac{\sqrt{10}}{6} \cdot 10^{\frac{L_W}{10}} + \frac{10}{3} \cdot 10^{\frac{L_N}{10}} \right]$$

W wartościach energetycznych (**ekspozycja względna**):

$$E_{DWN} = \frac{50\% \cdot E_D + 52,7\% \cdot E_W + 333,3\% \cdot E_N}{100\%}$$

### 3.9. Sumowanie „logarytmiczne” poziomów akustycznych

Poniższy wzór jest konsekwencją faktu, że wielkością addytywną z fizycznego punktu widzenia jest energia, a zatem wielkość proporcjonalna do  $p^2$  (patrz też p.3.4 poprzednio):

$$L_{suma} = 10 \cdot \lg \left( \sum_i 10^{0.1 \cdot L_i} \right)$$

gdzie :  $L_i$  - sumowane poziomy hałasu

UWAGA: **sumowane poziomy muszą być tego samego rodzaju** - np. poziomy równoważne muszą być określone dla tego samego czasu obserwacji !!!

STĄD:

- dla wielokrotności takich samych poziomów (np. kilku identycznych źródeł):

$$L = L_i + 10 \cdot \lg(x)$$

Tabela określająca zwiększenie / zmniejszenie poziomu dźwięku w zależności od **krotności x**:

x	1	1,26*	1,5	1,58	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	razy
10lgx	0	1	1,8	2	3	4	4,8	5,5	6	6,5	7	7,8	8,5	9	9,5	10	±dB

Z powyższych wzorów wynika również procentowe określenie np. skuteczności wyciszeń, które dotyczy stopnia zmniejszenia emitowanej energii, a nie procentowej zmiany wartości liczbowej poziomu dźwięku!

I tak:

Wyciszenie o wartość w %:	Tzn. wyciszenie do % wartości początkowej	Wyciszenie o wartość wyrażoną w dB
10%	90%	-0,5 dB
20,6%*	79,4%	<b>-1 dB</b>
33% (o $1/3$ )	66%	-1,8 dB
<b>50% (o połowę)</b>	<b>50%</b>	<b>-3 dB</b>
90%	10%	-10 dB
99%	1%	-20 dB
99,9%	0,1%	-30 dB
99,99%	0,01%	-40 dB
...a dalej zastanówmy się czy wiemy o czym mówimy...		

\* z tych zależności wynika też wniosek czym jest „jeden decybel” (1 dB):

- otóż jest to po prostu „zwiększenie energii o ok.26%” (albo „zmniejszenie energii o ok.20,6%”)

- nie jest to natomiast żadna „jednostka” fizyczna !!!



### 3.10. Chłonność akustyczna pomieszczenia

Chłonność akustyczna jest wyrażana w metrach kwadratowych [m<sup>2</sup>]:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$$

gdzie:

- $\alpha_i$  - współczynnik pochłaniania na i-tej powierzchni
- $S_i$  - i-ta powierzchnia w pomieszczeniu (ściany, podłoga, sufit, wyposażenie)

Średni współczynnik pochłaniania:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

Współczynniki pochłaniania wybranych materiałów:

	125Hz	250Hz	500Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
<b>SCIANY:</b>						
deski sosnowe	0,100	0,110	0,100	0,080	0,080	0,110
tapeta	0,020	0,025	0,040	0,050	0,070	0,080
farba klejowa	0,010	0,010	0,020	0,020	0,030	0,030
ściana z cegły	0,050	0,040	0,020	0,040	0,050	0,050
beton	0,010	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
<b>PODLOGI:</b>						
parkiet	0,030	0,040	0,060	0,120	0,100	0,170
linoleum	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,040
dywan 1cm	0,080	0,080	0,210	0,260	0,270	0,370
<b>USTROJE:</b>						
wełna mineralna	0,170	0,610	0,880	0,850	0,880	0,700
pian.PU-5cm	0,230	0,500	0,780	0,900	0,900	0,920
pian.PU-15cm	0,520	0,990	1,160	0,990	0,980	0,940
Ecophon Europa (klejony na stropie)	0,100	0,300	0,700	1,000	1,000	0,900
Ecophon Europa (oddal. od stropu)	0,420	0,800	0,900	0,800	0,920	0,980
korek natryskiwany	0,050	0,080	0,280	0,530	0,880	0,550
<b>OSOBY:</b>						
osoba siedząca	0,180	0,400	0,460	0,460	0,510	0,460

**Szacowanie chłonności akustycznej** na podstawie średniego współczynnika pochłaniania:

(PN-EN ISO 3746, PN-EN ISO 3744)

- uwaga: procedura **BARDZO niedokładna w małych pomieszczeniach!!!**

$$A = \bar{\alpha} \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_i \right)$$

Przykładowe współczynniki pochłaniania:

**Tablica A.1 - Wartości przybliżone średniego współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha$**   
(PN-EN ISO 3746:2011)

Średni współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha$	Opis pomieszczenia
<b>0,05</b>	Pomieszczenie prawie puste, z gładkimi ścianami odbijającymi dźwięk, wykonanymi z betonu, cegły, pustaków lub ze ścianami tynkowanymi
<b>0,1</b>	Pomieszczenie częściowo puste; pomieszczenie z gładkimi ścianami
<b>0,15</b>	Pomieszczenie umeblowane; prostopadłościenna maszynownia; prostopadłościenne pomieszczenie przemysłowe
<b>0,2</b>	Pomieszczenie umeblowane o nieregularnym kształcie; maszynownia lub pomieszczenie przemysłowe o nieregularnym kształcie
<b>0,25</b>	Pomieszczenie umeblowane meblami tapicerowanymi; maszynownia lub pomieszczenie przemysłowe z niewielką ilością materiałów pochłaniających dźwięk na ścianach lub suficie (na przykład częściowo pochłaniający sufit)
<b>0,35</b>	Pomieszczenie z materiałami pochłaniającymi dźwięk, zarówno na suficie, jak i na ścianach
<b>0,5</b>	Pomieszczenie z dużą ilością materiałów pochłaniających dźwięk, na suficie i na ścianach

### 3.11. Czas pogłosu

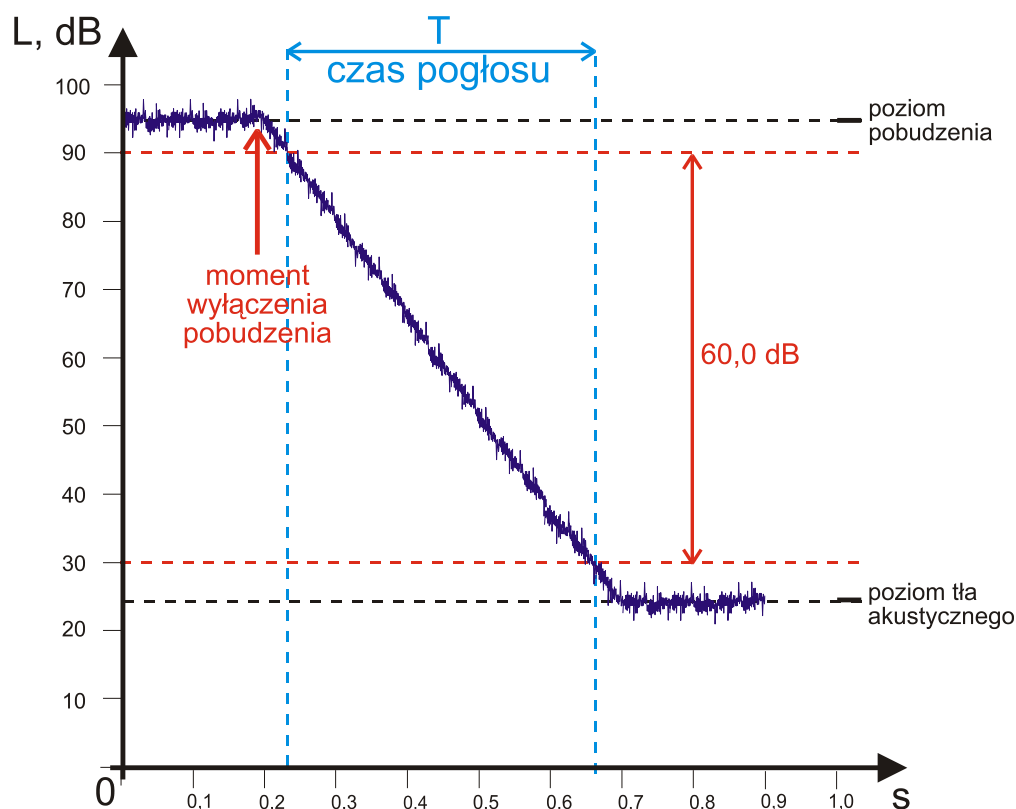
Zależność chłonności akustycznej od czasu pogłosu opisuje wzór Sabine'a:

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T}$$

gdzie:

- $A$  - chłonność akustyczna pomieszczenia [ $m^2$ ]
- $V$  - objętość pomieszczenia
- $T$  - czas pogłosu w pomieszczeniu odbiornika  
(czas w jakim poziom dźwięku w pomieszczeniu spada po gwałtownym wyłączeniu źródła hałasu o 60 dB ze stanu nasycenia):

#### Czas pogłosu (RT60)



Ze względów praktycznych (np. skutek wysokiego tła akustycznego) często określa się czasy spadku poziomu o 20 dB lub o 30 dB - mnożąc je potem odpowiednio przez 3 albo 2 i oznaczając odpowiednio jako RT20 albo RT30 (nadal są to wskaźniki odpowiadające spadkowi poziomu o 60 dB).

## 4. Pomiar poziomu dźwięku

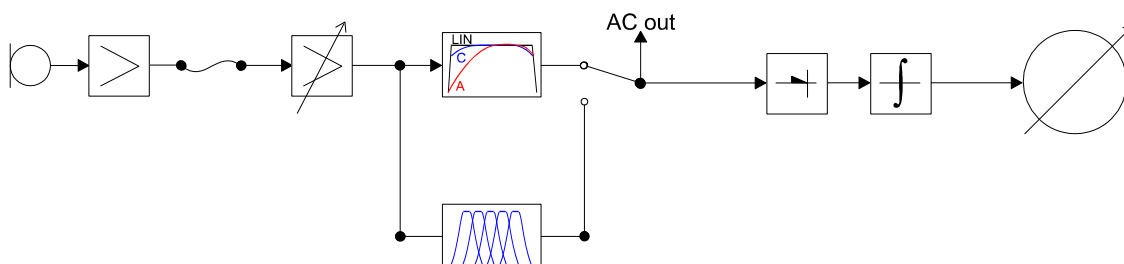
### 4.1. Schemat ideowy miernika

Każdy **miernik poziomu dźwięku** (sonometr) składa się z następujących elementów:

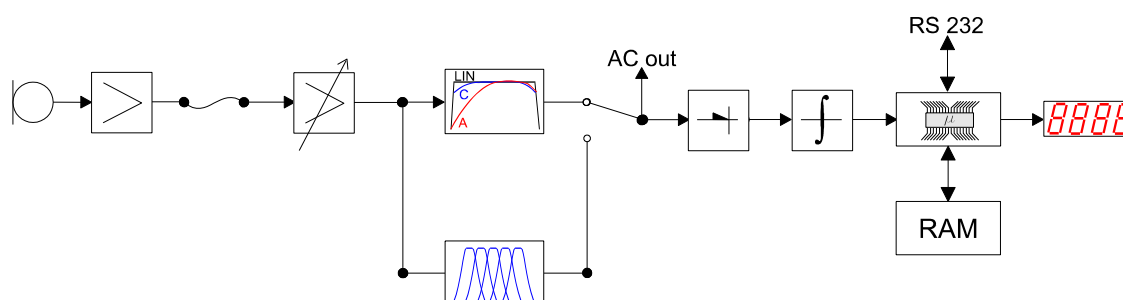
- mikrofon - przetwornik akustyczno-mechaniczny,
- przedwzmacniacz - dopasowujący charakterystykę elektryczną mikrofonu do układu miernika,
- zestaw filtrów korekcyjnych (LIN, A, C),
- układ stałych czasowych (SLOW, FAST, IMPULS),
- detektor RMS i/lub PEAK,
- układ logarytmiczny,
- wskaźnik lub wyświetlacz

**Budowę miernika przedstawiono na poniższych przykładach:**

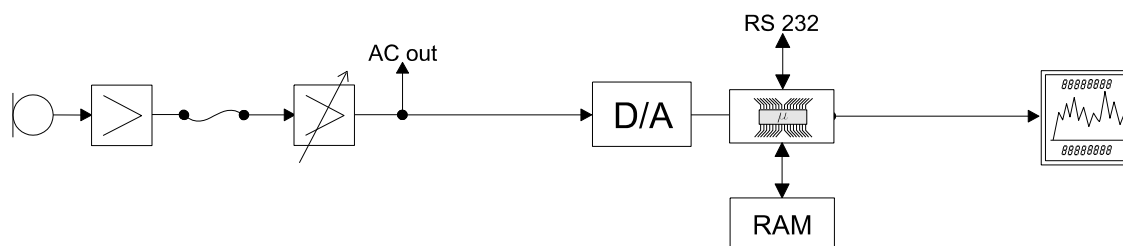
A. miernik analogowy - wskaźnik wskazówkowy (np. Sonopan I-01, Brüel&Kjær 2209)



B. miernik analogowo-cyfrowy - wyświetlacz cyfrowy (np. Brüel&Kjær 2231):



C. miernik cyfrowy - wyświetlacz graficzny (np. SVAN 945):



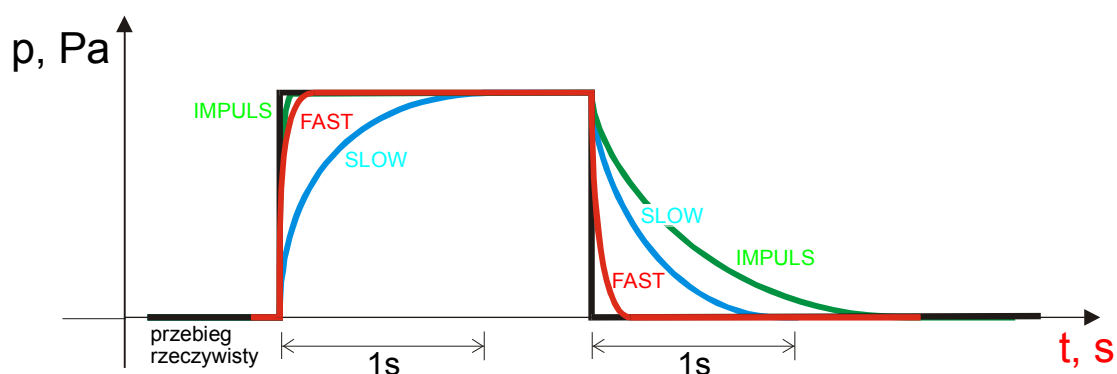
## 4.2. Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS

Opisują szybkość reakcji miernika na zmianę poziomu dźwięku (wzrost lub spadek).

Stała czasowa:

- FAST = 125 ms - charakteryzuje reakcję słuchu człowieka,
- SLOW = 1s - wprowadzono w miernikach wskazówkowych dla ułatwienia odczytu wyniku pomiaru - na tej stałej oparta jest większość poziomów dopuszczalnych dla poziomu maksymalnego (pomieszczenia lub stanowiska pracy),
- Impuls = narastanie 35 ms / spadek 1,5 s - odpowiada reakcji ucha na dźwięki impulsowe i uderzeniowe, obecnie wartości poziomów dla tej stałej czasowej nie są normowane

Przedstawienie graficzne stałych SLOW i FAST dla sygnału o prostokątnym przebiegu w czasie (np. włączenie, praca, wyłączenie źródła hałasu):



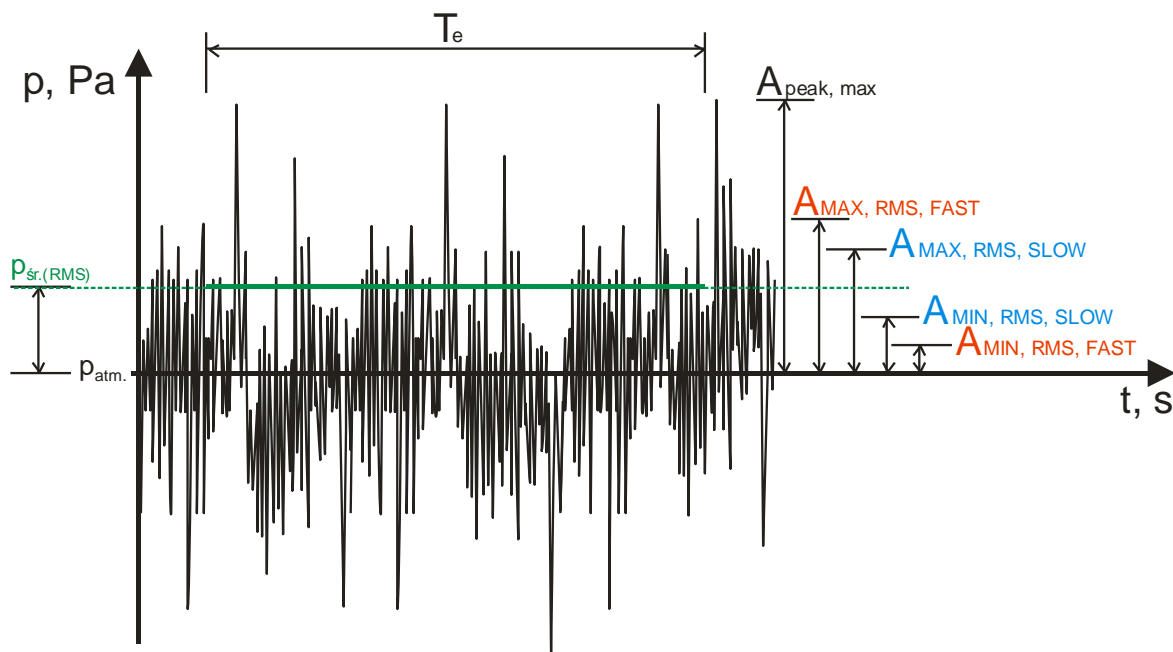
Wpływ stałych czasowych na wynik pomiaru przedstawia kolejny rysunek.

Stała czasowa SLOW uwypukla udział dźwięków o amplitudzie wolnozmiennnej w czasie, pozwalając np. wyeliminować krótkotrwałe zakłócenia akustyczne niebędące przedmiotem badania.

Natomiast zastosowanie stałej czasowej SLOW do pomiaru sygnału o amplitudzie szybkozmiennnej w czasie ( $\ll 1s$ ) spowoduje uzyskanie - dla poziomu maksymalnego - wyniku pomiaru mniejszego niż uzyskiwany dla stałej czasowej FAST.

### Stałe czasowe SLOW i FAST

Interpretacja graficzna dla przykładowego przebiegu w czasie.



### 4.3. Mierzone parametry

Miernik poziomu dźwięku pozwala odczytać szereg parametrów sygnału akustycznego rejestrowanych i wyświetlanych podczas pomiaru.

Nazwy mierzonych wielkości przedstawiono na przykładzie:

- miernika cyfrowego Brüel&Kjær typ 2231,
- miernika cyfrowego SVAN 945A.

Oznaczenia na innym sprzęcie mogą się nieznacznie różnić - należy zweryfikować w instrukcji sprzętu.

Dla ustawionych parametrów toru pomiarowego - zakres pomiarowy (FSD - *Full Scale Deflection* lub RANGE - uwaga: najnowsze mierniki są już jednozakresowe), korekcja częstotliwości (A, C, LIN), stała czasowa (SLOW, FAST) oraz typ detektora (RMS, PEAK) - możemy odczytać następujące wyniki (dot. mierników cyfrowych):

- **SPL** - *Sound Pressure Level* - chwilowa wartość poziomu dźwięku, jako maksymalna wartość RMS z ostatniej sekundy, aktualizowana co 1s,
- **LEQ** - *Equivalent Level* - równoważny poziom dźwięku z czasu pomiaru,
- **SEL** lub **L<sub>E</sub>** - *Sound Exposure Level* - ekspozycyjny poziom dźwięku - równoważny poziom dźwięku z czasu pomiaru przeliczony na 1s,
- **MINL** lub **MIN** - minimalny poziom dźwięku RMS z czasu pomiaru,  
- RMS: wartości uśrednione energetycznie z uwzględnieniem stałej czasowej FAST lub SLOW !
- **MAXL** lub **MAX** - maksymalny poziom dźwięku RMS z czasu pomiaru,  
- RMS: wartości uśrednione energetycznie z uwzględnieniem stałej czasowej FAST lub SLOW !
- **MAXP** lub **PEAK** - maksymalny poziom dźwięku PEAK (wartość szczytowa) z czasu pomiaru,
- **INST** - *Instant Level* - chwilowa wartość poziomu dźwięku RMS próbkowana co 1s (BK2231),  
UWAGA - mierniki SVAN mogą zapisać przebieg czasowy pomiaru w buforze w próbkach RMS co 10ms, 20ms, 50ms, 100ms, 200ms, 500ms, 1s - dotyczy to RMS, MIN, MAX, PEAK  
- patrz następna strona.
- **ELT** - *Elapsed Time* lub **TIME** - czas pomiaru.
- **Ln** - poziomy statystyczne - ozn. wartość poziomu dźwięku, która jest przekraczana w n% czasu obserwacji (pomiaru)

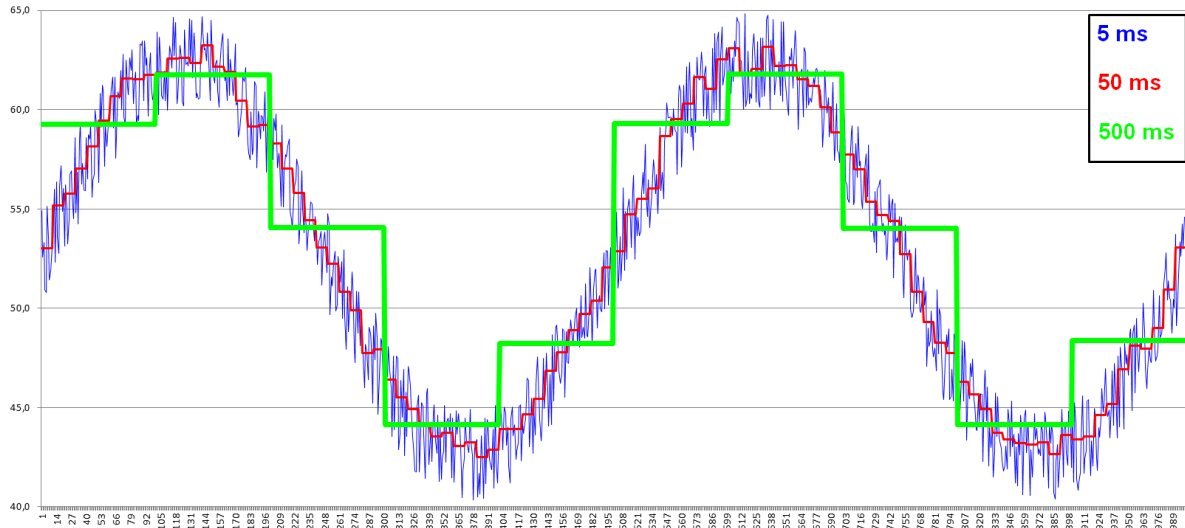
Poza wyżej wymienionymi wielkościami, mierniki mogą podawać inne parametry, co zależy od producenta i typu miernika.

## 4.4. Rejestracja sygnału

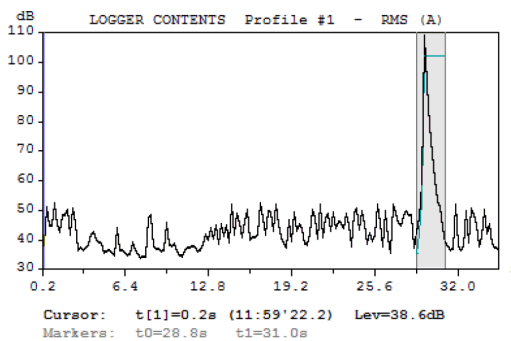
Rejestracja przebiegu sygnału - w próbkach RMS - jest bardzo wygodną techniką pomiarową - mierniki wyposażone w taką opcję - z ang. logger - mogą rejestrować sygnał w próbkach od 2 ms do 1 s.

Poniżej przykłady:

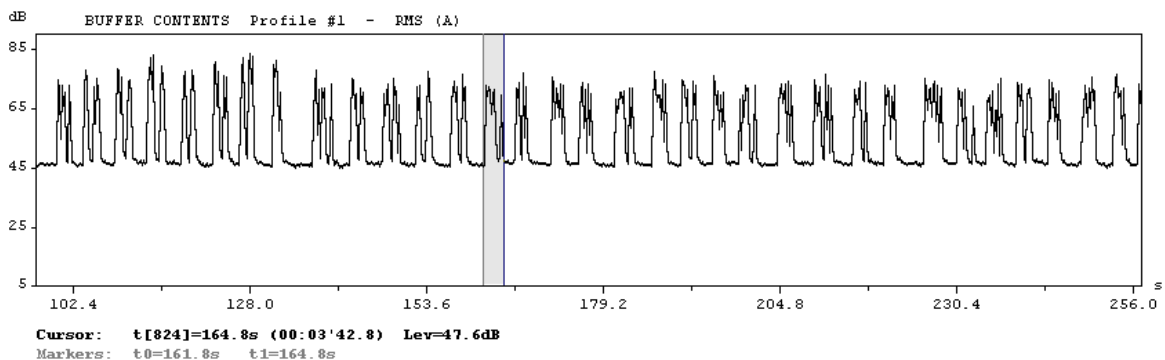
- rejestracja dla próbkowania 5ms, 50ms i 500ms:



- rejestracja wystrzału z karabinu czarnoprochowego (rejestracja próbek 100ms - hałas impulsowy!):



- rejestracja hałasu z zakładu w obecności zakłóceń od szczekania psa (rejestracja próbek 200ms):



## 4.5. Pomiary hałasu - używane pojęcia

Podczas pomiarów hałasu określa się równoważny poziom dźwięku A dla następujących sytuacji:

- **imisja hałasu** ( $L_{im}$ ) - mierzony w punkcie pomiarowym badany hałas razem z tłem akustycznym (mikrofon miernika rejestruje wszystkie dźwięki dochodzące do membrany mikrofonu),
- **tło akustyczne** (pomiarowe tło akustyczne) - wszystkie dźwięki w punkcie pomiarowym, które nie są badanym hałasem i występują **stale** podczas pomiarów *imisji hałasu* (nie są też *zakłóceniami akustycznymi*),
- **zakłócenia akustyczne** - dźwięki występujące przypadkowo podczas pomiarów - przy prawidłowym określaniu *imisji hałasu* lub *tła akustycznego* należy eliminować *zakłócenia akustyczne* w czasie pomiarów funkcją miernika „PAUZA” z usunięciem z zapisu ostatnich sekund pomiaru (w których wystąpiło zakłócenie) lub po pomiarach prowadzonych z rejestracją przebiegu hałasu poprzez elektroniczne usunięcie z zapisu *zakłóceń akustycznych* (na ogół istotnie wyróżniających się na wykresie),
- **emisja hałasu** ( $L_{em}$ )- poziom hałasu emitowanego przez dane źródło hałasu do punktu pomiarowego, jaki byłby zmierzony, gdyby nie występowało *tło akustyczne*.

Poziom emisji określa się na podstawie wzoru:

$$L_{em} = 10 \cdot \lg \left( 10^{0,1 \cdot L_{im}} - 10^{0,1 \cdot L_{tlo\_akustyczne}} \right)$$

### UWAGA 1:

W przypadku różnicy pomiędzy poziomem *imisji hałasu* a poziomem *tła akustycznego* powyżej 10 dB można pominąć wpływ *tła akustycznego* (było praktyczne dla wyników podawanych z dokładnością do 1 dB).

Jednak wtedy należy uwzględnić błąd związany z takim uproszczeniem (zawyżenie wyniku emisji hałasu), który wynosi 0,5 dB dla różnicy 10 dB, a 0,1 dB dla różnicy 15 dB.

### UWAGA 2:

Obecnie obowiązujące metodyki pomiaru hałasu przemysłowego w środowisku nie uwzględniają takiej opcji - narzucają określanie *tła akustycznego* w każdej sytuacji.



## 4.6. Protokół pomiarowy

### Protokół pomiarowy musi zawierać - Dobra Praktyka Laboratoryjna:

- jednostka prowadząca pomiary / kontrolę (nazwa, adres)  
- **imię i nazwisko wykonującego pomiar**
- **obiekt badań** (nazwa, adres lub opis lokalizacji)  
- imię i nazwisko (właściciela, dyrektora, innej osoby upoważnionej do reprezentacji) - jeśli ta osoba udzielała informacji np. o trybie pracy źródeł.
- **sprzęt pomiarowy** - typy i numery - miernika poziomu dźwięku, mikrofonu, kalibratora akustycznego, wraz z informacją o świadectwie wzorcowania - numer i data
- **nastawy miernika** - stała czasowa, korekcja częstotliwościowa, ew. czas pomiaru
- **rejestrowane wyniki** pomiaru (np. LEQ, MAXL, MINL, czas pomiaru)  
- **co najmniej 3 oznaczenia dla danej sytuacji pomiarowej z uwagi na statystykę dla określania niepewności wyników.**
- inne uwagi dot. sposobu wykonania pomiarów - powołane normy, wytyczne, procedury, ew. opis np.:  
"Pomiary wykonywano eliminując zakłócenia zewnętrzne, nie będące obiektem badań - tzw metodą "filtrowania" poprzez użycie funkcji PAUZA z usunięciem z obliczeń poziomu LEQ zapisu ostatnich 4 s pomiaru."
- **data i godzina (lub zakres godzin)** wykonania pomiarów
- **sytuacja akustyczna** - informacja o źródłach hałasu i źródłach tła akustycznego
- **warunki meteorologiczne** podczas pomiarów (temperatura i ew. wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, stan nieba - informacja o braku opadów)
- **lokalizację punktów pomiarowych** i źródeł hałasu - wskazany **szkic** terenu lub oznaczenie **na mapie** - również współrzędne GPS.
- **podpisy** pod protokołem
- w przypadku pomiarów kontrolnych kopia protokołu, po jej podpisaniu, musi być przekazana jednostce kontrolowanej!  
- nie dotyczy to sprawozdania z pomiarów - zawierającego obliczenia i wnioski.

#### UWAGA 1:

Obowiązujące metodyki pomiarowe lub normy wyszczególniają m.in. informacje jakie musi zawierać protokół lub sprawozdanie z pomiarów wykonanych wg tych przepisów.

## 5. Ochrona przed hałasem

### 5.1. Przepisy prawa

#### 5.1.1. Ochrona środowiska

- ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. **Prawo ochrony środowiska** (tekst jednolity Dz.U. 2019, poz. 1396, już z późn.zm.) - nazywana dalej „POŚ”,
  - ustawa z dnia 27 lipca 2001 r. o wprowadzeniu ustawy - Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. Nr 100, poz. 1085, zm. Dz.U. Nr 7 / 2003, poz.78) - nazywana dalej „ustawą wprowadzającą”,
- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826) - odpowiada delegacji Art. 113 POŚ. (patrz tabele w p.6.1), wraz ze zmianą podaną poniżej:
  - rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z 08.10.2012r., poz.1109) (zmieniono poziomy dopuszczalne od hałasu komunikacyjnego w tabelach 1 i 3)
  - tekst jednolity rozporządzenia: Dz.U. z 22.01.2014r. poz.112.

#### 5.1.2. Pomieszczenia w budynkach

- **PN-87/B-02156** - "Akustyka budowlana. Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach."
- **PN-87/B-02151/02 + Ap.1:2015-05** - "Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach",
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690, z późn.zm. - tekst jednolity Dz.U. 2015 poz.1422) **ze zmianą z 14.11.2017r. (Dz.U. 2017 poz.2285)** wraz z wykazem Norm Polskich powołanych w rozporządzeniu.

Nowe normy (nieobowiązujące - wg stanu na 06.04.2020 r.):

- **PN-B-02151-2:2018-01** - „Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach”,
- **PN-EN ISO 10052:2007-05 +PN-EN ISO 10052:2007/A1:2010** - „Akustyka. Pomiar terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego. Metoda uproszczona.” - wytyczne dla cyklu pomiarowego.
- **PN-EN ISO 16032:2006-09** - „Akustyka. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego od urządzeń wyposażenia technicznego w budynkach. Metoda dokładna”

### 5.1.3. Stanowiska pracy

- **PN-EN ISO 9612:2011** - „Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna”
- **PN-N-01307 (grudzień 1994)** - "Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów”
- 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 (Dz.U.2018, poz.1286) - **dopuszczalne poziomy hałasu**.
- 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 (Dz. U. Nr 157, poz. 1318) - wartości progów działania (podejmowanie działań zmniejszających ryzyko zawodowe).

## 5.2. Pomiary hałasu w środowisku zewnętrznym - informacyjnie

### 5.2.1. Wybór punktów pomiarowych

**Punkty pomiarowe do kontroli stanu środowiska umieszcza się na terenie chronionym akustycznie poza terenem własności zakładu:**

1. delegacja Art.113 POŚ - zróżnicowanie norm i czasów odniesienia w zależności od **rodzaju terenu**, źródła hałasu i pory doby:  
- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826) - normuje dopuszczalne poziomy, hałasu na terenach zamieszkania lub przebywania ludzi (!),
2. zapis Art. 115a POŚ - 1. W przypadku stwierdzenia przez organ ochrony środowiska, na podstawie pomiarów własnych, pomiarów dokonanych przez wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska lub pomiarów podmiotu obowiązującego do ich prowadzenia, że **poza zakładem, w wyniku jego działalności, przekroczone są dopuszczalne poziomy hałasu**, organ ten wydaje **decyzję o dopuszczalnym poziomie hałasu**; za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu uważa się przekroczenie wskaźnika hałasu  $L_{AeqD}$  lub  $L_{AeqN}$ .
3. Art. 315 POŚ - karę za przekroczenie za przekroczenie poziomu hałasu **w punkcie pomiarowym**, w którym ma ono **wartość najwyższą** dla pory dnia lub dla pory nocy.

### 5.2.2. Sposób prowadzenia pomiarów

- musi uwzględniać **reprezentatywną sytuację akustyczną**,
- należy podczas pomiarów **odrzucać wyniki zakłócone** przez przypadkowe zdarzenia akustyczne (lub pauzować pomiar na czas zakłóceń - tu jest przydatna w mierniku funkcja odrzucania ostatnich sekund pomiaru!) - ewentualnie: prowadzić ciągłą rejestrację sygnału RMS i podczas obserwacji odnotować czas wystąpienia zakłóceń, a następnie w laboratorium usunąć z przebiegu dane zakłócone.

### 5.2.3. Uwzględnienie tła akustycznego

W przypadku występującego wysokiego tła akustycznego (od hałasu pochodzącego od innych źródeł niż badane) - określa się **poziom dźwięku hałasu emitowanego** przez badane źródło, obliczając **emisję** jako różnicę logarytmiczną zmierzonego poziomu **imisji** w punkcie pomiarowym (badane źródło wraz z tłem akustycznym) i zmierzonego osobno **tła akustycznego** (podczas gdy badane źródło nie pracowało) - tzw. **poziom skorygowany względem tła akustycznego**, zgodnie ze wzorem:

$$L_{emisja} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{imisja}}{10}} - 10^{\frac{L_{tlo akustyczne}}{10}} \right)$$

### 5.3. Pomiary hałasu w pomieszczeniach - informacyjnie

- PN-87/B-02156 - "Akustyka budowlana. Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach"

#### Określane wielkości:

- średni poziom dźwięku :                      średnia arytmetyczna (!) – jest to archaizm!
- równoważny poziom dźwięku :              wzór standardowy
- dla wyników analizy statystycznej:        suma logarytmiczna

czas oceny:                      w dzień - 8h - kolejnych najniekorzystniejszych  
w nocy - 1/2h - najniekorzystniejsza

warunki pomiaru:              czas przy bezpośrednich odczytach z miernika >10 min.  
i ilość odczytów >100 (przy hałasie ustalonym 3-5 min)

wymagania ogólne:         drzwi i okna zamknięte (ew.zapewnić wymianę powietrza)  
max. 2 osoby podczas pomiaru

punkty pomiarowe:         1.2m ±0.1m od podłogi, >1m od ścian, >1.5m od okien  
>0.5m od obsługującego, **membrana skierowana ku sufitowi**  
- dla pom.technicznych >1m od źródła, mikrofon w kierunku  
źródła hałasu

liczba punktów :              min.3 dla kubatury>60m<sup>3</sup> (pom.dla ludzi)

wyniki obliczeń :               $LA = L_{zm} + K_1 + K_2$

poprawki na tło akustyczne:    - archaizm!  
- wskazane jest wykonanie działania „odejmowania logarytmicznego”!

$\Delta$	$K_1$
>10 dB	0 dB
6 -10 dB	-1 dB
4 - 5 dB	-2 dB
3 dB	-3 dB
<3 dB	nie można określać L

poprawki na chłonność akustyczną pomieszczeń niezagospodarowych:

pomieszczenie		$K_2$
pokoje	$V < 25m^3$	-5 dB
	$25 \div 40m^3$	-4 dB
	$40 \div 60m^3$	-3 dB
	$V > 60 m^3$	-2 dB
kuchnia,przedpokój,łazienka,WC		-2 dB

**JAKO WYNIK POMIARU - NAJWYŻSZY WYNIK ze wszystkich PUNKTÓW.**

klasa dokładności :

- 1 - dla mierników klasy 0 i 1, i nie stosowano odczytu wzrokowego
- 2 - dla mierników kl.2 lub stosowano odczyt wzrokowy dla hałasów nieustalonych

ocena:                      dla klasy 1:        normalnie,  
dla klasy 2:        <3 dB - wyniki nie mogą być przedmiotem oceny

## 5.4. Pomiary hałasu na stanowiskach pracy - informacyjnie

### Wielkości charakteryzujące hałas:

1. **Poziom ekspozycji na hałas** - korekcja częstotliwościowa A, SLOW (RMS)
2. **Ekspozycja na hałas** - korekcja częstotliwościowa A, SLOW (RMS)
3. **Maksymalny poziom dźwięku A** - korekcja częstotliwościowa A, SLOW (RMS)
4. **Szczytowy poziom dźwięku C** - korekcja częstotliwościowa C, (Peak).

### Wzory:

- ekspozycja na hałas : 
$$E_{A,Te} = \int_0^{Te} p_A^2(t) dt$$

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy :

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 * \lg \frac{Te}{T_{O=8h}}$$

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy :

$$L_{EX,w} = 10 * \lg \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 * L_{EX,8h}}$$

- Ekspozycja na hałas dla 8-godzinnego dnia pracy :

$$E_{A,8h} = 1.15 * 10^{-5} * 10^{0.1 * L_{EX,8h}} \quad (Pa^2 s)$$

- Ekspozycja na hałas tygodniowa :

$$E_{A,w} = \sum_{i=1}^n (E_{A,Te})_i \quad (Pa^2 s)$$

### Pomiary:

- **aparatura** : dozymetry hałasu lub całkujące mierniki poziomu dźwięku A klasy 2 lub lepszej o zakresie impulsowym co najmniej 53 dB,
- **położenie mikrofonu** : w miejscu gdzie zwykle znajduje się głowa pracownika
  - pomiary należy przeprowadzić podczas jego nieobecności,
  - jeżeli musi być - to od 0.1m do 0,4m od jego ucha - bardziej narażonego na hałas,
  - dla położenia nieokreślonego:
    - a) dla osoby stojącej **h=1,55 m**  $\pm 0,075m$
    - b) dla osoby siedzącej **h=0,80 m**  $\pm 0,05m$
  - minimum 1m od powierzchni odbijających (1.2m nad podłogą, 1.5m od okien),
  - zaleca się skierowanie mikrofonu w kierunku, w którym jest zwrócona twarz pracownika
- **metody pomiaru** : bezpośrednia (pomiar ciągły), metoda pośrednia (pomiar + obliczenia),
- **metoda pośrednia** w przypadku gdy występuje określona liczba **wyraźnie rozróżnialnych poziomów** dźwięku A,
- pomiar hałasu **metodami próbkowania i metodą rozkładu statystycznego**.

**- ten rozdział będzie w przyszłości uzupełniony o informacje z normy 9612:2011...**

## 6. Załączniki

### 6.1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Tabela 1 / Tabela 3

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami  $L_{Aeq D}$  ( $L_{DWN}$ ) i  $L_{Aeq N}$  ( $L_N$ ), które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby:

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom hałasu w [dB]			
		Drogi lub linie kolejowe <sup>1)</sup>		Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		$L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom $L_{DWN}$	$L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom $L_N$	$L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia kolejno po sobie następującym	$L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	a) Strefa ochronna "A" uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>40</b>
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży <sup>2)</sup> c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	<b>61</b> <b>64</b> (było 55)	<b>56</b> <b>59</b> (było 50)	<b>50</b>	<b>40</b>
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe <sup>2)</sup> d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	<b>65</b> <b>68</b> (było 60)	<b>56</b> <b>59</b> (było 50)	<b>55</b>	<b>45</b>
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców <sup>3)</sup>	<b>68</b> <b>70</b> (było 65)	<b>60</b> <b>65</b> (było 55)	<b>55</b>	<b>45</b>

Objaśnienia:

<sup>1)</sup> Wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych.

<sup>2)</sup> W przypadku niewykorzystywania tych terenów, zgodnie z ich funkcją, w porze nocy, nie obowiązuje na nich dopuszczalny poziom hałasu w porze nocy.

<sup>3)</sup> Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców pow. 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

**UWAGA: Poziomy długookresowe (roczne)  $L_{DWN}$  i  $L_N$  zostały określone identycznie!**

**UWAGA 2: Poziomy długookresowe (roczne)  $L_{DWN}$  i  $L_N$  dla hałasów komunikacyjnych są obecnie JESZCZE wyższe niż poziomy „jednodniowe” (?????)**

Tabela 2 / Tabela 4\*

Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne wyrażone wskaźnikami  $L_{Aeq D}$  ( $L_{DWN}$ ) i  $L_{Aeq N}$  ( $L_N$ ), które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom hałasu w dB			
		Starty, lądowania i przeloty statków powietrznych		Linie elektroenergetyczne	
		$L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	$L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	$L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	$L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom
1	a) Strefa ochronna "A" uzdrowiska b) Tereny szpitali, domów opieki społecznej c) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży <sup>1)</sup>	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>40</b>
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe <sup>1)</sup> c) Tereny mieszkaniowo-usługowe d) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców <sup>2)</sup>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>45</b>

Objaśnienia:

<sup>1)</sup> W przypadku niewykorzystywania tych terenów, zgodnie z ich funkcją, w porze nocy, nie obowiązuje na nich dopuszczalny poziom hałasu w porze nocy.

<sup>2)</sup> Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców pow. 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

**\*UWAGA: Poziomy długookresowe (roczne)  $L_{DWN}$  i  $L_N$  zostały określone identycznie!**



## 6.2. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach

**PN-87/B-02151/02** - "Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach."

Dopuszczalne poziomy dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi:

lp	przeznaczenie pomieszczenia	dop.równ.		dop.od wyp.techn.			
		od wszyst.		średni/równ.		maks.d>5dB	
		dzien.	noc	dzień	noc	dzień	noc
1	pomieszczenia mieszkalne w budynkach mieszkalnych, internatach, domach rencistów, dziecka, hotelach kategorii S i I, hotelach robotniczych	40	30	35	25	40	30
2	kuchnie i pom.sanitarnie w mieszkaniach	45	40	40	40	45	45
3	pokoje w hotelach kat.II i niższych	45	35	40	30	45	35
4	pokoje w domach wczasowych	40-45	30-35				
5	pokoje chorych w szpitalach i sanatoriach za wyjątkiem pokoi w oddziałach intensywnej opieki medycznej	35	30	30	25	35	30
6	pomieszczenia łóżkowe w oddziałach intensywnej opieki medycznej	30	30	25	25	30	30
7	sale operacyjne, pokoje przygotowania chorych do operacji +	35	-	30	-	35	-
8	gabiny badań lekarskich w przychodniach i szpitalach, pom. psychoterapii	35	-	30	-	35	-
9	pokoje lekarskie, pielęgniarskie oraz inne pomieszczenia szpitalne (za wyjątkiem działów technicznych i gospodarczych)	40	30	35	25	40	35
10	laboratoria medyczne, pokoje recepturowe w aptekach	40	-	35	-	40	-
11	pokoje dla dzieci w żłobkach, klasy w przedszkolach	35	-	30	-	35	-
12	klasy i pracownie szkolne, sale wykładowe audytoria +	40	-	35	-	40	-
13	sale konferencyjne	40	-	35	-	40	-
14	pomieszczenia do pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji uwagi	35	-	30	-	35	-
15	pomieszczenia administracyjne bez wewnętrznych źródeł hałasu	40	-	35	-	40	-
16	pomieszczenia administracyjne z wewnętrznymi źródłami hałasu, pomieszczenia administracyjne w obiektach tymczasowych	45	-	40	-	45	-
17	sale zajęć w domach kultury	35-45	-	30-40	-	40-50	-
18	sale kawiarniane i restauracyjne	50	-	45	-	brak norm	
19	sale sklepowe	50	-	45	-	brak norm	

Dopuszczalne poziomy dźwięku A **urządzeń zainstalowanych w pomieszczeniach technicznych** w budynkach mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego:

		maksymalny poziom dźwięku A w odł. 1m
1	węzeł cieplny, hydrofornia, praca pompy, działanie zaworów	65
2	transformatornia, praca transformatora przy minimalnych występujących wartościach obciążenia	62
3	maszynownia dźwigu: praca zespołu napędowego	65
4	przebież nad dachem budynku, praca wentylatora dachowego	65

**PN-B-02151-2:2018-01** - „Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach” (nieobowiązująca!)

**Tablica 1 - Dopuszczalny poziom dźwięku A (wyciąg)**

Lp.	Rodzaj budynku	Rodzaj pomieszczenia chronionego	Najwyższy dopuszczalny poziom dźwięku A, dB	
			$L_{Aeq,nT}$	$L_{AFmax,nT}$
1a	Budynki wielorodzinne i jednorodzinne	Pokoje i pokoje połączone z kuchnią	25 <sup>a, b</sup>	30 <sup>b</sup>
1b		Wydzielone kuchnie i pomieszczenia sanitarne	35	
2a	Hotele	Pokoje hotelowe	25	30
3a	Budynki zakwaterowania turystycznego (hotele turystyczne, pensjonaty, domy wypoczynkowe)	Pokoje hotelowe	30	35
3b		Ogólnodostępne pomieszczenia sanitarne, pomieszczenia kuchenne	40	
4a	Budynki zamieszkania zbiorowego (domy studenckie, internaty i bursy szkolne, hotele robotnicze, domy dziecka, domy opieki społecznej)	Pokoje mieszkalne	25	30
4b		Pokoje dla personelu	30	
4c		Ogólnodostępne pomieszczenia sanitarne, pomieszczenia kuchenne	40	
6a	Szkoły podstawowe i ponadpodstawowe	Sale lekcyjne	35	
6b		Pokoje nauczycielskie	35	
6c		Pomieszczenia do zajęć edukacyjnych takich, jak: wychowanie fizyczne, zajęcia muzyczne, pracownie techniczne	40	-
10a	Wszystkie rodzaje budynków	Pokoje biurowe wykorzystywane przez odrębnych użytkowników	35	
10b		Biura wielkoprzestrzenne, pokoje biurowe typu open-space	40 <sup>c</sup>	
10c		Pokoje do prowadzenia rozmów poufnych (w tym gabinety dyrektorskie)	30	
10d		Sale kinowe i teatralne	indywidualnie	
10e		Muzea	35	
10f		Sklepy	50	
10g		Domy handlowe, supermarkety	50	
10h		Recepcja, hotele w hotelach i sanatoriach	40	
10i		Kawiarnie i sale restauracyjne	40	
10j		Korytarze w szkołach	45	
10k		Sale ćwiczeń w obiektach sportowych	50	
10m		Baseny	50	

<sup>a</sup> Jeżeli występuje hałas **tonalny** i/lub **niskoczęstotliwościowy** i/lub **impulsowy**, wartości najwyższego dopuszczalnego poziomu dźwięku A **zmniejsza się o 5 dB**.

<sup>b</sup> W przypadku pokoi dziennych połączonych z kuchnią, w odniesieniu do hałasu występującego **tylko w porze dziennej (6:00 - 22:00)**, dopuszcza się poziom większy o 5 dB.

<sup>c</sup> Dopuszcza się stosowanie dodatkowych dźwięków o indywidualnie dopasowanej wartości poziomu hałasu do maskowania transmisji dźwięków mowy w biurze wielkoprzestrzennym, z jednoczesnym zachowaniem wartości dopuszczalnych w pomieszczeniu przy wyłączonym hałasie maskującym.

**Uwaga:** W przypadku oceny warunków akustycznych w pomieszczeniu, ocenie podlega wyznaczony poziom dźwięku A, bez korekty spowodowanej wpływem tła, dla najbardziej niekorzystnego typowego przypadku pracy wszystkich źródeł hałasu instalacyjnego.

### 6.3. Wymagane izolacyjności akustyczne ścian wewnętrznych

**PN-B-02151-3 (styczeń 1999)** - "Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania." - do 31.12.2017r

dla budynków **mieszkalnych wielorodzinnych** wskaźniki izolacyjności akustycznej wynoszą (tablica 2):

Funkcje pomieszczeń rozdzielonych przegrodą		Stropy		Ściany (bez drzwi)	drzwi
		R' <sub>A1</sub>	L' <sub>n,w</sub>	R' <sub>A1</sub>	R' <sub>A1</sub>
Wszystkie pomieszczenia mieszkania	wszystkie pomieszczenia przyległego mieszkania	51 <sup>1)</sup>	58 <sup>2)</sup>	50	3)
	korytarz, klatka schodowa	3)	53 <sup>4)</sup>	50	25 <sup>5)</sup>
	pomieszczenia techniczne wyposażenia instalacyjnego budynku	55 <sup>6)</sup>	58 <sup>7),8)</sup>	55 <sup>6)</sup>	3)
	sklepy, punkty usługowe o L <sub>pA</sub> < 70 dB	55 <sup>6)</sup>	53 <sup>7)</sup> 58 <sup>8)</sup>	55 <sup>6)</sup>	3)
	punkty usługowe o L <sub>pA</sub> 70-75 dB	55-60 <sup>6), 9)</sup>	48-53 <sup>7),9)</sup> 58 <sup>8)</sup>	55-60 <sup>6), 9)</sup>	3)
	kawiarnie, restauracje, kluby (z wyłączeniem dyskotek)	55-60 <sup>9)</sup>	48-53 <sup>7),9)</sup> 58 <sup>8)</sup>	57-67 <sup>9)</sup>	3)
pokój	pomieszczenia sanitarne w tym samym mieszkaniu	3)	3)	35	brak <sup>10)</sup>
	wszystkie pozostałe pomieszczenia poza sanitarnymi	45-51 <sup>11)</sup>	58 <sup>12)</sup>	30-35 <sup>13)</sup>	brak <sup>10)</sup>

- 1) w obrębie pom. sanitarnych dozwolone -4 dB
- 2) dla pom. sanitarnych - w kierunku poziomym i ukośnym
- 3) ustalenia indywidualne
- 4) dla budynków o układzie korytarzowym - w kierunku poziomym i ukośnym
- 5) dla budynków o układzie korytarzowym - zaleca się >25 dB
- 6) jeżeli widmo hałasu źródła jest zbliżone do C<sub>tr</sub> - wymaganie dla wskaźnika R'<sub>A2</sub>
- 7) z podłogi pom. hałaśliwego do mieszkania bez względu na kierunek
- 8) jeżeli mieszkanie nad pom. hałaśliwym - do innych mieszkań w kierunku poziomym i ukośnym
- 9) dobrać indywidualnie w granicach podanych w tabeli
- 10) brak wymagań
- 11) dotyczy mieszkań dwupoziomowych
- 12) dotyczy mieszkań dwupoziomowych - do innych mieszkań przyległych
- 13) zalecana większa wartość

**PN-B-02151-3:2015-10** „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.” - od 01.01.2018r.

dla budynków **mieszkalnych wielorodzinnych** (tablica 3 - fragment):

Lp.	Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika
1	2	3	4
<b>I</b>	<b>Budynki wielorodzinne</b>		
I.1	Strop między mieszkaniami	$R'_{A,1}$ <sup>a</sup>	$\geq 51$ <sup>b</sup>
I.2	Ściana między mieszkaniami	$R'_{A,1}$	$\geq 50$
I.3	Ściany i drzwi między klatką schodową i /lub korytarzem komunikacji ogólnej a dowolnym		
I.3.1	– ściana pełna, bez drzwi	$R'_{A,1}$	$\geq 50$
I.3.2	– ściana z drzwiami, gdy w mieszkaniu znajduje się przedpokój oddzielony drzwiami od pozostałej części mieszkania	$R'_{A,1}$	$\geq 30$
I.3.3	– ściana z drzwiami w sytuacjach innych niż w I.3.2 (przyp.MK: np. wejście bezpośrednie do kuchni z salonem)	$R'_{A,1}$	$\geq 38$
I.3.4	– drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.2	$R_{A,1,R}$	$\geq 30$
I.3.5	– drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.3	$R_{A,1,R}$	$\geq 35$
I.4	Ściana lub strop między mieszkaniem a : garażem, pomieszczeniem technicznym, handlowym, usługowym, salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których nie prowadzi się działalności z udziałem muzyki i /lub tańca	$R'_{A,1}$ <sup>a</sup>	$\geq 58$ <sup>c</sup>
I.5	Ściana lub strop między mieszkaniem a : – salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których prowadzi się działalność z udziałem muzyki i /lub tańca – pomieszczeniem, w którym zainstalowane urządzenia lub rodzaj wykonywanej pracy czy prowadzonych zajęć ruchowych są źródłem zakłóceń akustycznych w postaci dźwięków powietrznych i materiałowych <sup>d, e</sup>	$R'_{A,1}$	$\geq 65$ <sup>c</sup>
I.6	W budynku wielofunkcyjnym - strop oddzielający część mieszkalną od części biurowej	$R'_{A,1}$	$\geq 58$ <sup>c</sup>
<p><sup>a</sup> Dotyczy wskaźnika wspólnej powierzchni przegrody dzielącej pomieszczenia; jeżeli wspólna powierzchnia przegrody, S, jest mniejsza niż 10 m<sup>2</sup>, wymaganie dotyczy wskaźnika oceny wzorcowej różnicy poziomów <math>D_{nT,A,1}</math></p> <p><sup>b</sup> Stropy między pomieszczeniami sanitarnymi mogą mieć wartość <math>R'_{A,1}</math> mniejszą o 2 dB.</p> <p><sup>c</sup> Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-02 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu.</p> <p><sup>d</sup> Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.</p> <p><sup>e</sup> Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.</p>			

## 6.4. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy

**PN-N-01307** (grudzień 1994) - "Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów"

**Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy ze względu na :**

		wielkość	wartość
A	<b>ochronę słuchu</b> - rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie <i>najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy</i> (Dz. U. 2014, poz. 817)		
	• odniesione do 8-godzinnego dnia pracy :		
	- poziom ekspozycji na hałas	$L_{EX,8h}$	<b>85 dB</b>
	- ekspozycja na hałas	$E_{A,Te}$	$3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \text{ s}$
	• maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	<b>115 dB</b>
• szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	<b>135 dB</b>	
B	<b>możliwość realizacji przez pracownika podstawowych funkcji</b>		
	• równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy		
	-w kabinach bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej	$L_{Aeq,Te}$	<b>75 dB</b>
	-w kabinach bezpośredniego sterowania z łącznością telefoniczną	$L_{Aeq,Te}$	<b>65 dB</b>
	-w pomieszczeniach administracyjnych	$L_{Aeq,Te}$	<b>55 dB</b>
	• maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	<b>115 dB</b>
	• szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	<b>135 dB</b>

**Wartości progów działania dla wielkości charakteryzujących hałas i drgania mechaniczne w środowisku pracy**

W przypadku hałasu:

- dla poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do tygodnia pracy - wartość progów działania wynosi **80 dB**,
- dla szczytowego poziomu dźwięku C - jako wartość progów działania przyjmuje się wartość NDN wynoszącą **135 dB**.

## 6.5. Poprawki widmowych krzywych korekcyjnych A, B, C, D i G

<i>f<sub>real</sub></i>	f, Hz	A, dB	B, dB	C, dB	D, dB	G, dB
	<b>0,25</b>					<b>-88,0</b>
	0,315					<b>-80,0</b>
	0,4					-72,1
	<b>0,5</b>					<b>-64,3</b>
	0,63					<b>-56,6</b>
	0,8					-49,5
	<b>1</b>					<b>-43,0</b>
	1,25					<b>-37,5</b>
	1,6					-32,6
	<b>2</b>					<b>-28,3</b>
	2,5					<b>-24,1</b>
	3,15					-20,0
	<b>4</b>					<b>-16,0</b>
	5					<b>-12,0</b>
	6,3					-8,0
	<b>8</b>					<b>-4,0</b>
<b>10</b>	10	<b>-70,4</b>	<b>-38,2</b>	<b>-14,3</b>	-26,6	<b>0,0</b>
13,59	12,5	<b>-63,4</b>	<b>-33,2</b>	<b>-11,2</b>	-24,6	4,0
15,85	<b>16</b>	<b>-56,7</b>	<b>-28,5</b>	<b>-8,5</b>	-22,6	<b>7,7</b>
19,95	20	<b>-50,5</b>	<b>-24,2</b>	<b>-6,2</b>	-20,6	<b>9,0</b>
25,12	25	<b>-44,7</b>	<b>-20,4</b>	<b>-4,4</b>	-18,7	3,7
31,62	<b>31,5</b>	<b>-39,4</b>	<b>-17,1</b>	<b>-3,0</b>	-16,7	<b>-4,0</b>
39,81	40	<b>-34,6</b>	<b>-14,2</b>	<b>-2,0</b>	-14,7	-12,0
50,12	50	<b>-30,2</b>	<b>-11,6</b>	<b>-1,3</b>	-12,8	-20,0
63,1	<b>63</b>	<b>-26,2</b>	<b>-9,3</b>	<b>-0,8</b>	-10,9	<b>-28,0</b>
79,43	80	<b>-22,5</b>	<b>-7,4</b>	<b>-0,5</b>	-9,0	<b>-36,0</b>
<b>100</b>	100	<b>-19,1</b>	<b>-5,6</b>	<b>-0,3</b>	-7,2	<b>-44,0</b>
125,9	<b>125</b>	<b>-16,1</b>	<b>-4,2</b>	<b>-0,2</b>	-5,5	<b>-52,0</b>
158,5	160	<b>-13,4</b>	<b>-3,0</b>	<b>-0,1</b>	-4,0	<b>-60,0</b>
199,5	200	<b>-10,9</b>	<b>-2,0</b>	<b>0,0</b>	-2,6	<b>-68,0</b>
251,2	<b>250</b>	<b>-8,6</b>	<b>-1,3</b>	<b>0,0</b>	-1,6	<b>-76,0</b>
316,2	315	<b>-6,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,0</b>	-0,8	<b>-84,0</b>
398,1	400	<b>-4,8</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,0</b>	-0,4	
501,2	<b>500</b>	<b>-3,2</b>	<b>-0,3</b>	<b>0,0</b>	-0,3	
631	630	<b>-1,9</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>	-0,5	
794,3	800	<b>-0,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	-0,6	
<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
1259	1250	<b>0,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	2,0	
1585	1600	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,1</b>	4,9	
2005	<b>2000</b>	<b>1,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	7,9	
2512	2500	<b>1,3</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,2</b>	10,4	
3162	3150	<b>1,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,4</b>	11,6	
3981	<b>4000</b>	<b>1,0</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	11,1	
5012	5000	<b>0,5</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,2</b>	9,6	
6310	6300	<b>-0,1</b>	<b>-1,9</b>	<b>-1,9</b>	7,6	
7943	<b>8000</b>	<b>-1,1</b>	<b>-2,9</b>	<b>-2,9</b>	5,5	
<b>10000</b>	10000	<b>-2,5</b>	<b>-4,3</b>	<b>-4,3</b>	3,4	
12590	12500	<b>-4,3</b>	<b>-6,1</b>	<b>-6,2</b>	1,4	
15850	<b>16000</b>	<b>-6,6</b>	<b>-8,4</b>	<b>-8,5</b>	-0,7	
19950	20000	<b>-9,3</b>	<b>-11,1</b>	<b>-11,2</b>	-2,7	

## 6.6. Krzywe NR

Noise Rating NR - Curve	Maximum Sound Pressure Level (dB)								
	Octave band mid-frequency (Hz)								
	31.5	62.5	125	250	500	<b>1000</b>	2000	4000	8000
NR 0	55	36	22	12	5	<b>0</b>	-4	-6	-8
NR 10	62	43	31	21	15	<b>10</b>	7	4	2
NR 20	69	51	39	31	24	<b>20</b>	17	14	13
NR 25	72,5	55	43,5	35,5	29	<b>25</b>	22	19,5	18
NR 30	76	59	48	40	34	<b>30</b>	27	25	23
NR 35	79,5	63	52,5	44,5	39	<b>35</b>	32	30	28
NR 40	83	67	57	49	44	<b>40</b>	37	35	33
NR 45	86	71	61,5	54	49	<b>45</b>	42	40	38,5
NR 50	89	75	66	59	54	<b>50</b>	47	45	44
NR 60	96	83	74	68	63	<b>60</b>	57	55	54
NR 70	103	91	83	77	73	<b>70</b>	68	66	64
NR 80	110	99	92	86	83	<b>80</b>	78	76	74
NR 85	113,5	103	96	91	88	<b>85</b>	83	81	79,5
NR 90	117	107	100	96	93	<b>90</b>	88	86	85
NR 100	124	115	109	105	102	<b>100</b>	98	96	95
NR 110	130	122	118	114	112	<b>110</b>	108	107	105
NR 120	137	130	126	124	122	<b>120</b>	118	117	116
NR 130	144	138	135	133	131	<b>130</b>	128	127	126

## 6.7. Działania na potęgach i logarytmach

$$a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ razy}} \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

$$a^1 = a \quad a^0 = 1$$

$$a^n \cdot a^m = a^{n+m} \quad a^n : a^m = \frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

$$(a^n)^m = a^{n \cdot m} \quad a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n}$$

$$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n \quad \frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n = \left(\frac{b}{a}\right)^{-n}$$

$$\log_a x = y \Leftrightarrow x = a^y \quad (x, a > 0, a \neq 1)$$

$$\log_a 1 = 0 \quad \log_a a = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \log_a x = -\infty$$

wzór na zmianę podstawy:  $\log_a x = \frac{\log_b x}{\log_b a}$

$$\log_a (x \cdot y) = \log_a x + \log_a y \quad \log_a \left(\frac{x}{y}\right) = \log_a x - \log_a y$$

$$\log_a (x^y) = y \cdot \log_a x \quad \log_a (\sqrt[y]{x}) = \frac{1}{y} \cdot \log_a x$$



## 6.8. Uprozczone tablice wykładnicze i logarytmiczne

### TABLICE LOGARYTMICZNE do AKUSTYKI

antylogarytmy o podstawie 10, czyli  $10^x$ :

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,12	1,15	1,17	1,20	1,23
0,1	1,26	1,29	1,32	1,35	1,38	1,41	1,45	1,48	1,51	1,55
0,2	1,58	1,62	1,66	1,70	1,74	1,78	1,82	1,86	1,91	1,95
0,3	2,00	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,29	2,34	2,40	2,45
0,4	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,82	2,88	2,95	3,02	3,09
0,5	3,16	3,24	3,31	3,39	3,47	3,55	3,63	3,72	3,80	3,89
0,6	3,98	4,07	4,17	4,27	4,37	4,47	4,57	4,68	4,79	4,90
0,7	5,01	5,13	5,25	5,37	5,50	5,62	5,75	5,89	6,03	6,17
0,8	6,31	6,46	6,61	6,76	6,92	7,08	7,24	7,41	7,59	7,76
0,9	7,94	8,13	8,32	8,51	8,71	8,91	9,12	9,33	9,55	9,77

Przykład:

$$10^{6,35} = 10^6 \cdot 10^{0,35} = 2,24 \cdot 10^6 = 2\,240\,000$$

logarytmy o podstawie 10:

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
1,1	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
1,2	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
1,3	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14
1,4	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
1,5	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20
1,6	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
1,7	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25
1,8	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28
1,9	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2,0	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,45	0,46
3,0	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59
4,0	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
5,0	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77
6,0	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84
7,0	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90
8,0	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95
9,0	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
10,0	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04

Przykład:

$$\lg(124000) = \lg(1,24 \cdot 10^5) = \lg(1,24) + \lg(10^5) = 0,09 + 5 = 5,09$$

## 6.9. Współczynniki rozkładu T-Studenta:

liczba próbek $n$	stopnie swobody $\nu = n-1$	$\tau$ (95%)
1	0	?
2	1	12,71
3	2	4,30
4	3	3,18
5	4	2,78
6	5	2,57
7	6	2,45
8	7	2,36
9	8	2,31
10	9	2,26
15	14	2,14
20	19	2,09
25	24	2,06
30	29	2,05
40	39	2,02
50	49	2,01
55	54	2,00
100	99	1,98
$\infty$	$\infty$	1,960

=ROZKŁAD.T.ODW(1-0,95;n-1)

## 6.10. Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane)

Warto zajrzeć na strony:

- **NTL-M.Kirpluk** [www.ntlmk.com](http://www.ntlmk.com)

na tej stronie m.in.:

- „**Kalkulator akustyczny**” - ikonka kalkulatora w górnym prawym rogu ekranu;
- w zakładce „**E-biblioteka**” (menu po lewej stronie ekranu):

- aktualne wydanie niniejszych „**Podstaw Akustyki**” © M.Kirpluk
- wskaźniki do obliczania **poziomów mocy akustycznych źródeł zastępczych** symulujących ruch pojazdów (wg badań własnych) - samochody osobowe i ciężarowe,
- "**Metodyka określania niepewności rozszerzonej**" © M.Kirpluk  
- rozdział 16 Księgi Jakości laboratorium badawczego firmy NTL-M.Kirpluk,
- **Kalkulator akustyczny v.3.3** - na smartfony z Androidem
- Program demonstracyjny **emisji hałasu do środowiska MK HALAS demo v.6** (Windows)
  - 3 źródła hałasu (można dowolnie zmieniać ich parametry - poziom mocy akustycznej, położenie, włączyć/wyłączyć, wprowadzić tłumienia -5, -10 i -15 dB)
  - 1 punkt obliczeniowy (zafiksowany) - program podaje obliczoną wartość poziomu dźwięku oraz udziały od poszczególnych źródeł (ozn. kolorami),
  - program pokazuje strefy hałasu (ozn.kolorami do 10dB) i NATYCHMIAST (!) aktualizuje po wprowadzeniu zmian (...czego nie robi żaden program tzw."profesjonalny"... ;-))

- **Liga Walki z Hałasem** [www.lwzh.org.pl](http://www.lwzh.org.pl)
- **Polskie Towarzystwo Akustyczne** [www.acoustics.org.pl](http://www.acoustics.org.pl)
- **Profon Acoustics** [www.profon.xq.pl](http://www.profon.xq.pl)

Sprzęt pomiarowy:

- **Brüel & Kjær** [www.bruel.com.pl](http://www.bruel.com.pl)
- **SVANTEK Sp. z o.o.** [www.svantek.com](http://www.svantek.com)
- **NORSONIC** [web2.norsonic.com](http://web2.norsonic.com)
- **SONOPAN** [www.sonopan.com.pl](http://www.sonopan.com.pl)