

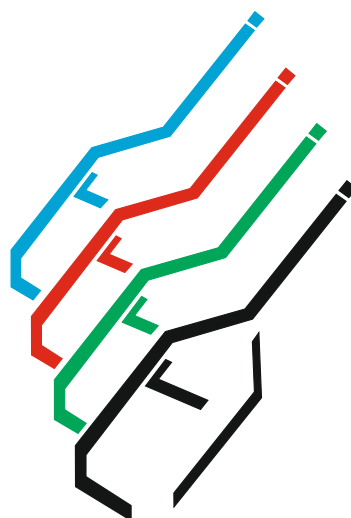
07'2026

NTL - M.Kirpluk

Mikołaj Kirpluk „NTL-M.Kirpluk”
00-761 Warszawa, ul.Belwederska 3 m.6
korespondencja / laboratorium: 43-200 Pszczyna, ul.Bratnia 33
tel. (+48) 502 216620, mkirpluk@ntlmk.com
www.ntlmk.com

Podstawy akustyki

mgr Mikołaj Kirpluk



Pszczyna, lipiec 2026

(I edycja: Warszawa, wrzesień 2004)



www.ntlmk.com

Spis treści:

1. FALA DŹWIĘKOWA.....	4
1.1. Cechy fizyczne.....	4
1.2. Zjawiska fizyczne.....	6
1.2.1. Superpozycja fal	6
1.2.2. Odbicie, ugięcie i przenikanie.....	8
1.2.3. Refrakcja, interferencja i fala stojąca	9
1.2.4. Dźwięki powietrzne i materiałowe	10
1.3. Klasyfikacja pól i sygnałów akustycznych	11
2. ZMYŚŁ SŁUCHU	12
2.1. Budowa ucha	12
2.2. Słyszenie i postrzeganie dźwięku	12
3. PARAMETRY AKUSTYCZNE - DEFINICJE	13
3.1. Wartość skuteczna (RMS) i szczytowa (PEAK)	13
3.2. Poziom dźwięku i decybel	14
3.3. Ekspozycja względna	18
3.4. Działania matematyczne na poziomach dźwięku.....	19
3.4.1. Suma poziomów (patrz też 3.7)	19
3.4.2. Średnia poziomów	20
3.4.3. Różnica poziomów.....	20
3.5. Korekcja częstotliwościowa	22
3.5.1. Korekcja częstotliwościowa (LIN lub Z, A, C)	22
3.5.2. Inne krzywe korekcyjne.....	23
3.6. Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej, itd.	24
3.6.1. Poziom ciśnienia akustycznego (L_p)	24
3.6.2. Poziom dźwięku A (L_{pA})	24
3.6.3. Maksymalny poziom dźwięku A przy stałej czasowej SLOW (L_{ASmax})	26
3.6.4. Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak})	26
3.6.5. Wzorcowy poziom dźwięku (L_{nT}) (ozn.: L_{nT}).....	27
3.6.6. Znormalizowany poziom dźwięku (L_n) (ozn.: L_n).....	27
3.6.7. Poziom mocy akustycznej (L_W)	28
3.6.8. Poziom A energii akustycznej (L_{JA}).....	29
3.6.9. Poziom równoważny (L_{eq} lub LEQ)	30
3.6.10. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do czasu 8-godzinnego dnia pracy (inaczej: dzienny poziom ekspozycji na hałas) ($L_{EX,8h}$)	32
3.6.11. Obliczanie poziomu równoważnego lub poziomu ekspozycji na hałas	33
3.6.12. Poziom ekspozycyjny (L_{AE} lub SEL).....	34
3.6.13. Poziom dziennie-wieczorno-nocny L_{DWN} (lub LDEN).....	35
3.6.14. Poziomy statystyczne (L_n).....	36
3.7. Krotność	37
3.8. Sumowanie „logarytmiczne” poziomów akustycznych	38
3.9. Chłoność akustyczna pomieszczenia	39
3.10. Czas pogłosu	41
3.11. Poprawka środowiskowa K_{2A}	42
4. POMIAR POZIOMU DŹWIĘKU	43
4.1. Schemat ideowy miernika	43
4.2. Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS.....	44
4.3. Mierzone parametry.....	45
4.4. Rejestracja sygnału	46
4.5. Pomiary hałasu - używane pojęcia.....	47
4.6. Protokół pomiarowy	48

5.	OCHRONA PRZED HAŁASEM - POMIARY	49
5.1.	Przepisy prawa	49
5.1.1.	Ochrona środowiska	49
5.1.2.	Pomieszczenia w budynkach	50
5.1.3.	Stanowiska pracy	50
5.2.	Pomiary hałasu w środowisku zewnętrznym - informacyjnie	51
5.2.1.	Wybór punktów pomiarowych	51
5.2.2.	Sposób prowadzenia pomiarów	51
5.2.3.	Uwzględnienie tła akustycznego	51
5.3.	Pomiary hałasu w pomieszczeniach - informacyjnie	52
5.4.	Pomiary hałasu na stanowiskach pracy - informacyjnie	53
6.	PROGNOZOWANIE EMISJI HAŁASU DO ŚRODOWISKA	54
6.1.	Wzór podstawowy	54
6.2.	Poziom mocy akustycznej źródła punktowego	55
6.2.1.	Źródło punktowe	56
6.2.2.	Źródło liniowe o długości L	56
6.2.3.	Źródło powierzchniowe o polu powierzchni S	56
6.2.4.	Źródło typu „budynek”	57
6.3.	Wpływ odległości r (ITB-338) lub d (PN ISO 9613-2)	58
6.4.	Tłumienie przez powietrze	58
6.5.	Ekranowanie	59
6.6.	Wpływ zieleni	60
6.7.	Inne składniki modeli obliczeniowych	60
7.	ZAŁĄCZNIKI	61
7.1.	Działania na potęgach i logarytmach	61
7.2.	Uprozczone tablice wykładnicze i logarytmiczne	62
7.3.	Poprawki widmowych krzywych korekcyjnych A, B, C, D i G	63
7.4.	Filtry pasmowe - oktafowe i tercjowe	64
7.4.1.	Filtry oktafowe	64
7.4.2.	Filtry tercjowe	65
7.5.	Krzywe NR	66
7.6.	Współczynniki rozkładu T-Studenta	67
7.7.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku	68
7.7.1.	Chronologia zmian	68
7.7.2.	Obowiązujące	74
7.8.	Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach	76
7.9.	Wymagane izolacyjności akustyczne ścian wewnętrznych	79
7.10.	Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy	82
7.11.	Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane)	83

1. Fala dźwiękowa

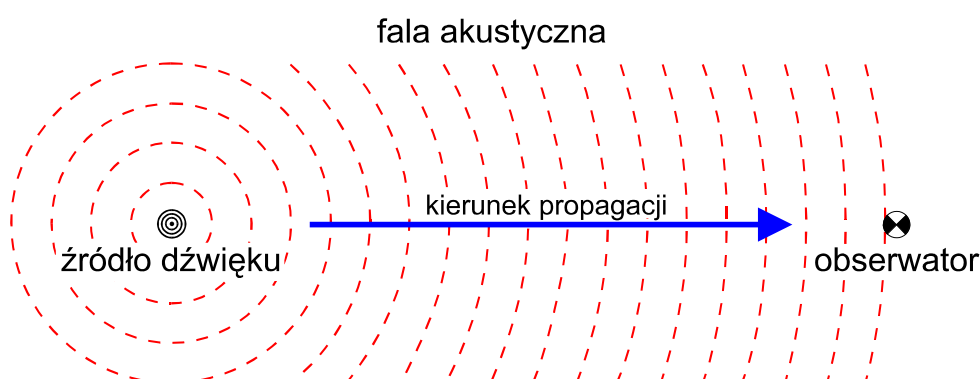
1.1. Cechy fizyczne

Fala dźwiękowa to forma transmisji energii przez ośrodek sprężysty.

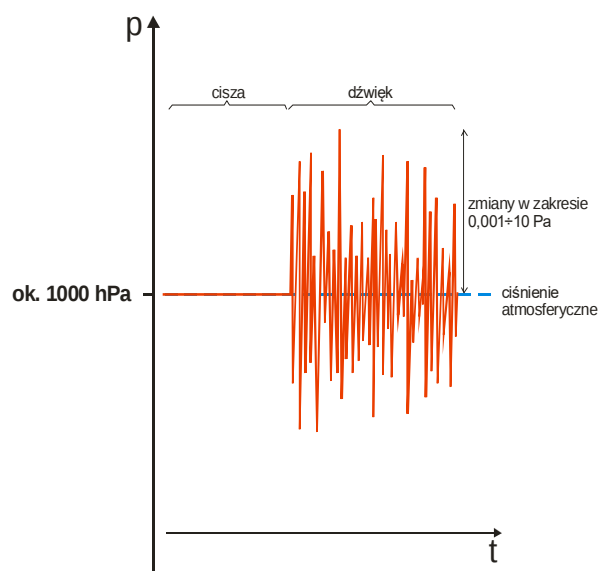
W powietrzu falę dźwiękową stanowi fala podłużna (tzn. zaburzenia stanu występują wzdłuż kierunku propagacji) zmian ciśnienia atmosferycznego.

Definicje:

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



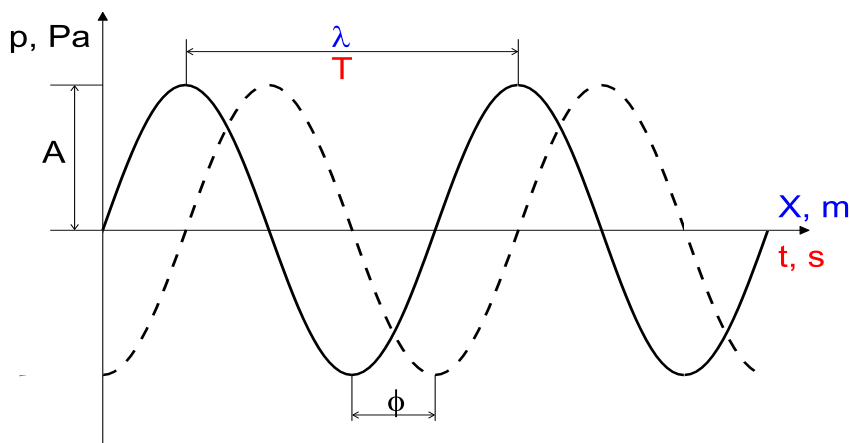
- **Cięśnienie akustyczne**
- *chwilowe zmiany ciśnienia względem średniego ciśnienia atmosferycznego:*



Ciekawostka (definicje będą dalej...):

- *minimalny poziom dźwięku to $-\infty$ [dB] - czyli brak emisji...*
- *maksymalny poziom - w powietrzu (fala sinusoidalna, dla warunków normalnych $t=0^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{atm.}}=101325$ 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) $c[m/s] \approx 331,29 + 0,607 \cdot t[^\circ C]$
 - w wodzie (ok. 10°C) 1450 m/s
 - w betonie 3800 m/s
 - w stali ok. 6000 m/s
- **faza drgania ϕ** - 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 λ** - 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 λ (w powietrzu)	okres T
Hz	m	s
20	17	50 ms
50	6,8	20 ms
100	3,4	10 ms
340	1,0	2,9 ms
500	0,68	2 ms
1000	0,34	1 ms
8000	0,04	125 μ s
16000	0,02	62,5 μ s

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:

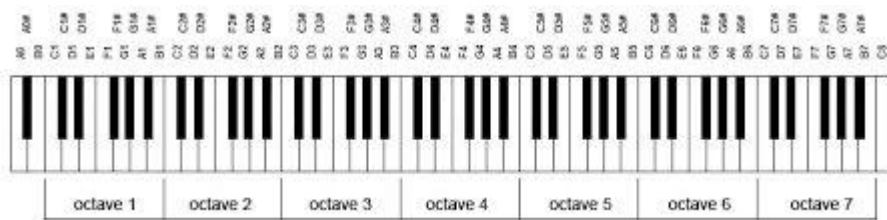
 - infradźwięki: 1 Hz, 2 Hz, 4 Hz, 8 Hz
 - pasmo słyszalne: 16 Hz, 31,5 Hz, **63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz**
 - ultradźwięki: 32 kHz (...i powyżej...)

Granice pasm oktawy są określone względem częstotliwości środkowej przez pomnożenie albo podzielenie jej wartości przez $\sqrt{2}$ (tabele wartości w Załączniku);

Uwaga: NIE MYLIĆ z pojęciami muzycznymi - w muzyce **oktawa** jest definiowana inaczej - i to na dwa różne sposoby: jako *skala* albo jako *interwał*:

- **oktawa** jako **skala** jest uporządkowanym zbiorem nut, przechodzącym przez 8 nut alfabetu muzycznego składającego się z 7 nut i kończącym się tą samą nutą, od której zaczęliśmy, np.:
 - A-> B-> C-> D-> E-> F-> G-> A albo C-> D-> E-> F-> G-> A-> B-> C;
 - Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Ti-Do jest oktawą używaną w nomenklaturze solfeżu.
- **oktawa** jako **interwał** - czyli muzyczny dystans między 2 nutami:

Jeśli zbudujemy skalę A-> B-> C-> D-> E-> F-> G-> A, to przedział między A-1 i A-2 nazywamy **oktawą (Octave)**, ponieważ obejmuje 8 nut (w tym same dwie A).



(źródło danych: <https://muzyka.narkive.pl/NTdpiQcv/co-to-jest-oktawa>)

- **Tercja** - pasmo częstotliwości pomiędzy częstotliwościami, których stosunek równa się $\sqrt[3]{2}$.

Trzy kolejne tercje stanowią **oktawę** (stąd tercje są też nazywane inaczej pasmami **$\sqrt[3]{2}$ -otawowymi**).

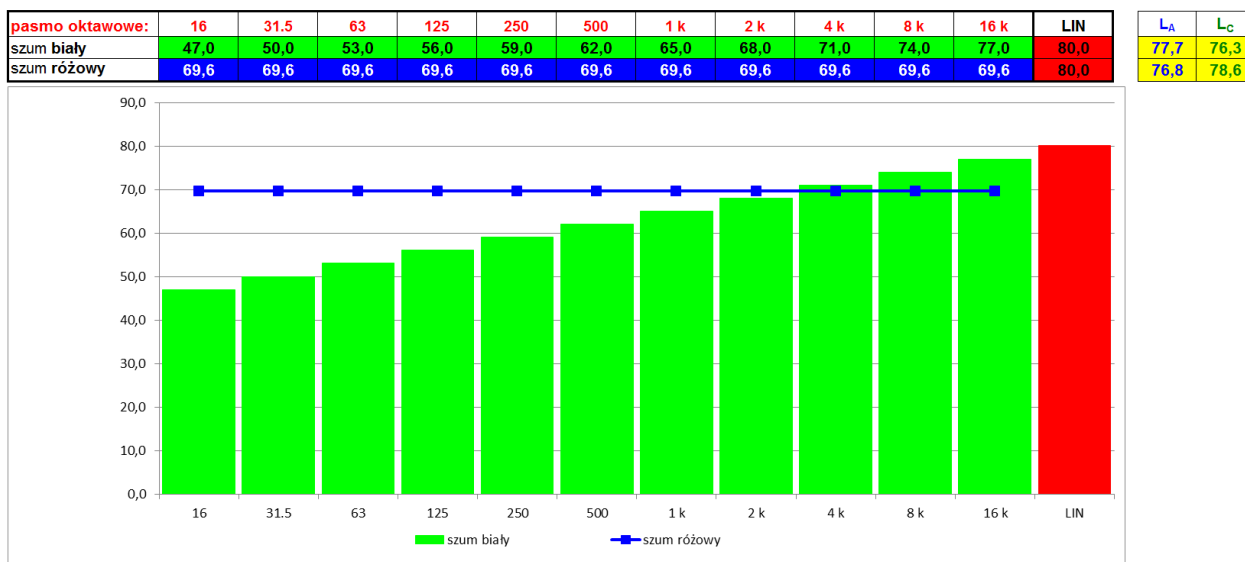
Częstotliwości środkowe tercji w Hz (zakres słyszalny - AUDIO):

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.

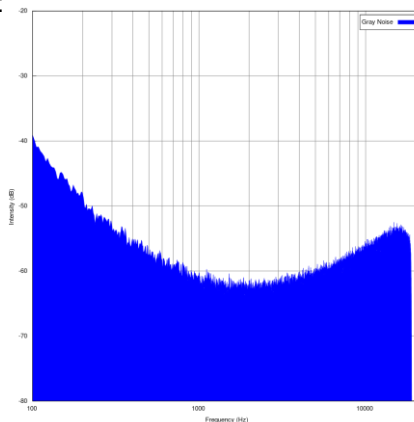
Granice pasm oktawy są określone względem częstotliwości środkowej przez pomnożenie albo podzielenie jej wartości przez $\sqrt[6]{2}$ (tabele wartości w Załączniku);

- **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. Energia szumu różowego jest skupiona w zakresie niskich częstotliwości.

Szum biały i różowy o takiej samej energii akustycznej:



- **Szum czerwony** - błędnie nazywany „szumem brązowym” - bo chodzi tu o *szum Browna*¹ - a jest to szum szerokopasmowy o takiej charakterystyce widmowej, że poziom dźwięku dla każdego pasma oktawowego (lub tercjowego) opada w miarę wzrostu częstotliwości odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu tej częstotliwości, tzn. jego widmowa gęstość mocy proporcjonalna jest do $1/f^2$, czyli opada 6 dB na oktawę (20 dB na dekadę²). Energia szumu czerwonego jest skupiona w zakresie niskich częstotliwości jeszcze bardziej niż dla szumu różowego. Szum czerwony może być wygenerowany przez scałkowanie szumu białego. (źródło danych: https://pl.wikipedia.org/wiki/Szum_czerwony)
- **Szum szary** - rodzaj szumu akustycznego uwzględniającego psychoakustyczną krzywą jednakowego poziomu głośności (izofonę), dając słuchającemu wrażenie jednakowej głośności wszystkich częstotliwości zawartych w szumie:

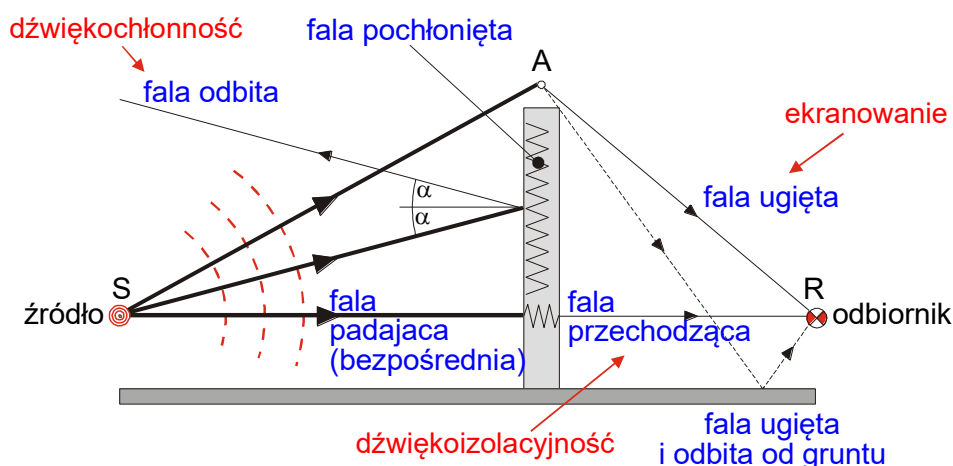


(źródło danych: https://pl.wikipedia.org/wiki/Szum_szary)

¹ przekłamanie wynika z błędnego tłumaczenia z języka angielskiego, w którym mówimy „brown noise”, ale nazwa nie pochodzi od koloru, ale od nazwiska szkockiego biologa, Roberta Browna, twórcy teorii dotyczącej ruchu cząsteczek.

² dekada – w elektronice, rząd wielkości częstotliwości - jedna dekada odpowiada stosunkowi liczbowemu wartości 10:1.

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 β :

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

Przeciwieństwem zdolności do odbijania fali jest **dźwiękochłonność**, charakteryzowana współczynnikiem **chłonności** α (patrz rozdział 3.8): $\alpha = 1 - \beta$

- **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 fal 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!** :-)

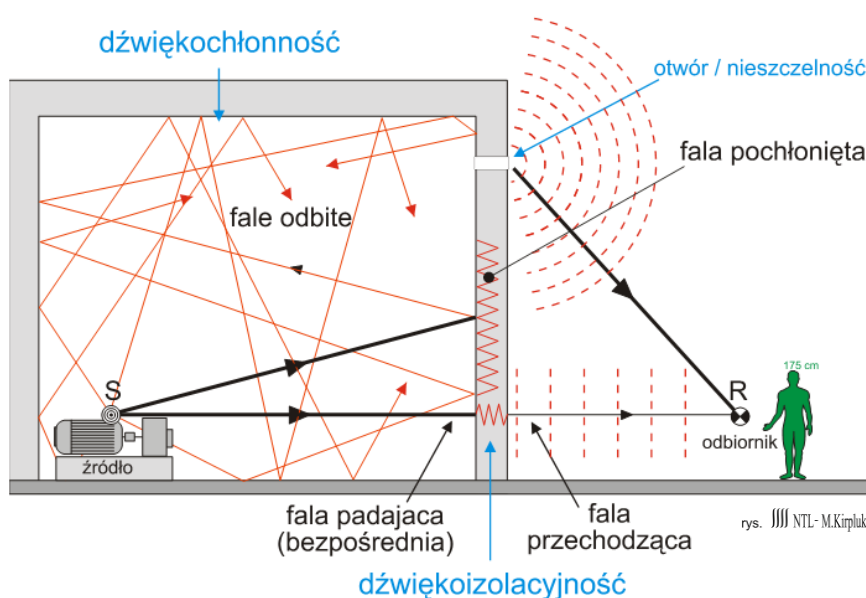
- **Fala stojąca** - to fala wygenerowana (wzbudzona) pomiędzy dwiema płaszczyznami równoległymi do siebie. Wskutek zjawisk fizycznych polegających na wielokrotnym odbiciu fali oraz na interferencji tych fal w przestrzeni generuje się pole o maksimach (strzałki) i minimach (węzły) ciśnienia akustycznego, 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:

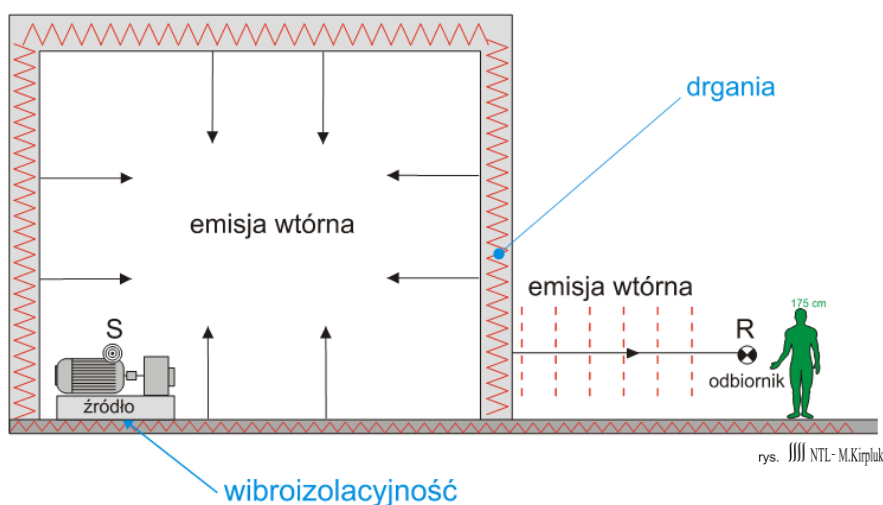
- dźwięki powietrzne:**

- 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:**

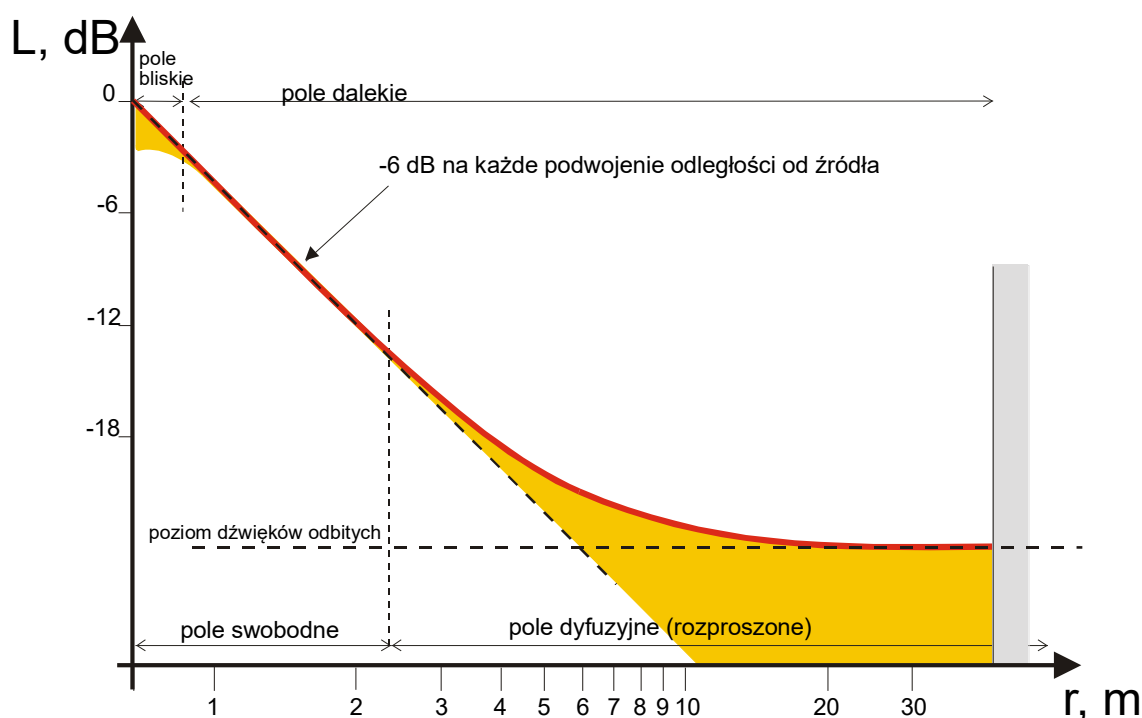
- źródło **pobudza konstrukcję** z którą jest połączone poprzez **drgania**,
- drgania przenoszą się konstrukcyjnie na przegrodę,
- pobudzają przegrodę do drgań i ta emituje wtórną falę akustyczną (transmisja pośrednia)



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** (ang. *FREE*) - pole w którym nie występują fale odbite,
- **dyfuzyjne** lub **rozproszone** (ang. *DIFFUSE*) - pole w którym występuje duża liczba fal odbitych z różnych kierunków, co powoduje *teoretycznie* stały poziom dźwięku w całym obszarze (poza obszarami o bezpośrednim oddziaływaniu źródeł hałasu znajdujących się w tym polu).



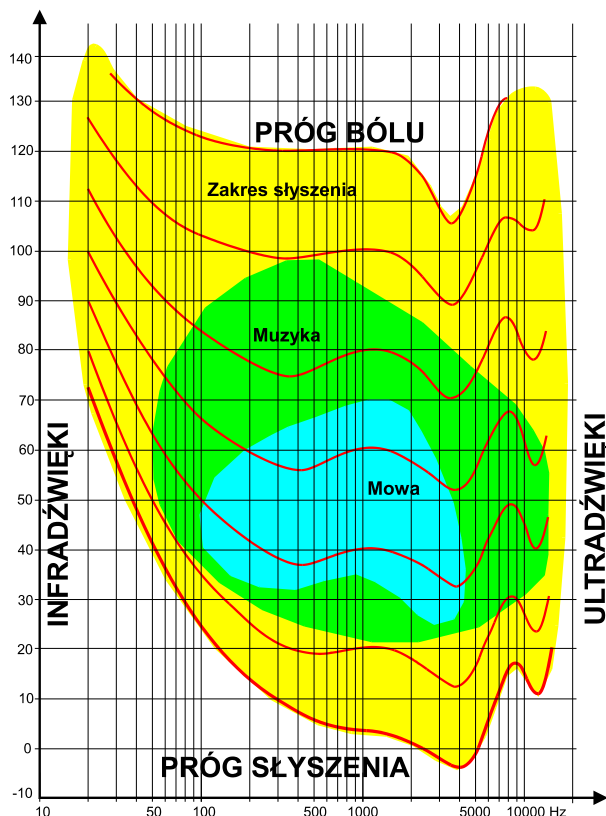
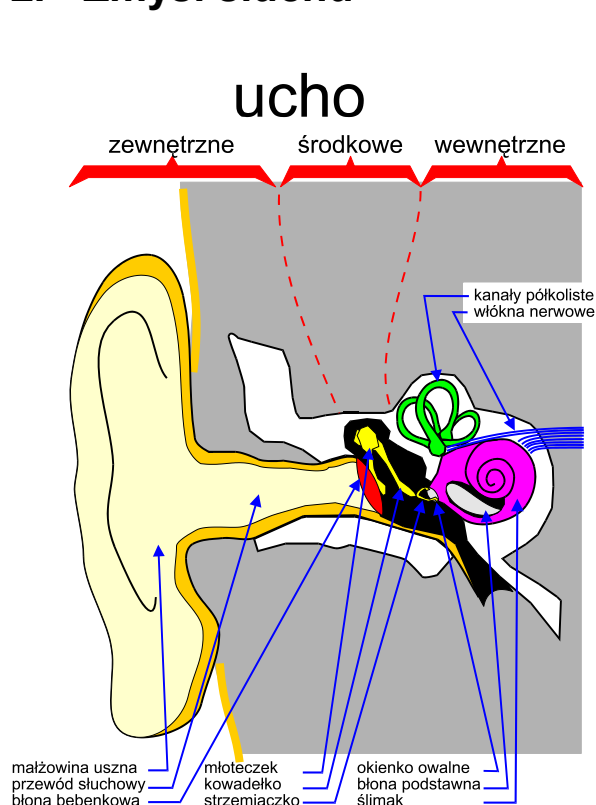
UWAGA:

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 **połem ciśnieniowym** (jaki występuje w kalibratorze) a **połem 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.

* **uwaga: czytać instrukcję miernika!** (poprawka może być inna i wynosić np. **0,13 dB** dla miernika **SVAN 979**)

2. Zmysł słuchu



2.1. Budowa ucha

części składowe:

- małżowina uszna
- przewód słuchowy
- błona bębenkowa
- ucho środkowe
- błona podstawna
- kanały półkoliste
- trąbka Eustachiusza

funkcje fizyczne:

- tuba
- falowód
- filtr mechaniczny i hermetyzacja układu
- wzmacniacz mechaniczny
- analizator widmowy z konwerterem mechaniczno-elektrycznym
- układ orientacji 3D (równowaga)
- 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.

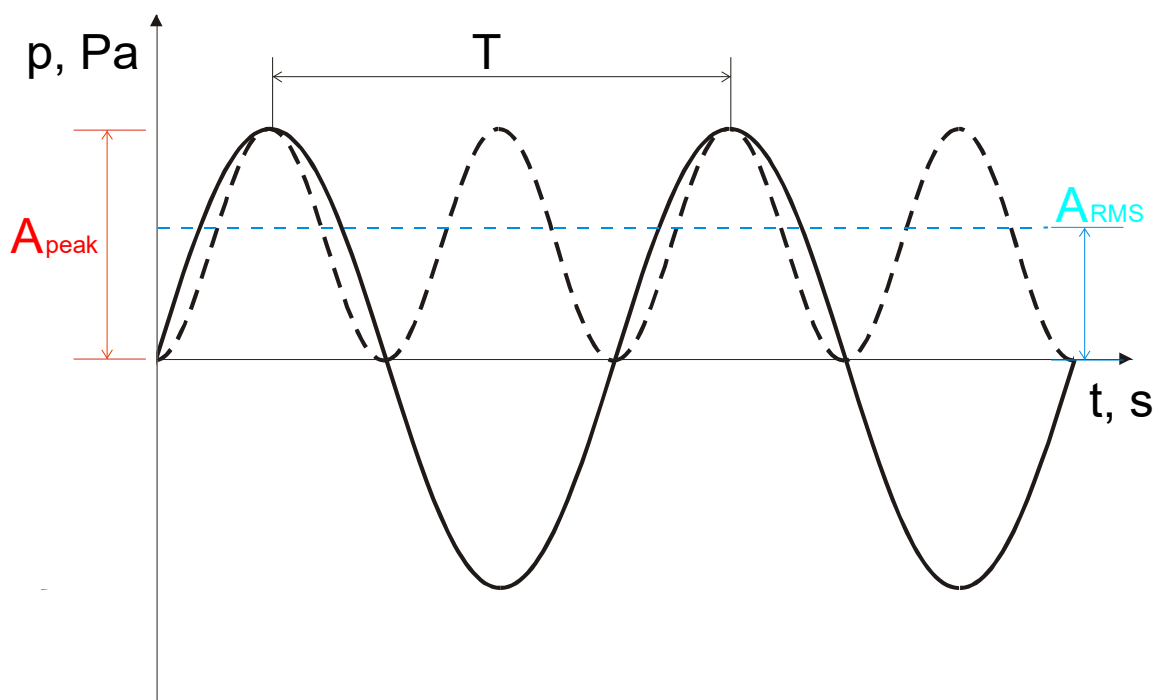
Postrzeganie dźwięku pozwala rozróżniać:

- **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} 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 harmoniczných.

Uwaga: **czułość słuchu** adaptuje się do aktualnie otaczającego tła akustycznego (i to dla każdego ucha osobno!) - i dlatego „uchem” (czyli „na słuch”) **nie można zmierzyć** poziomu hałasu!

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 (na rys. A_{RMS}):

- 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.

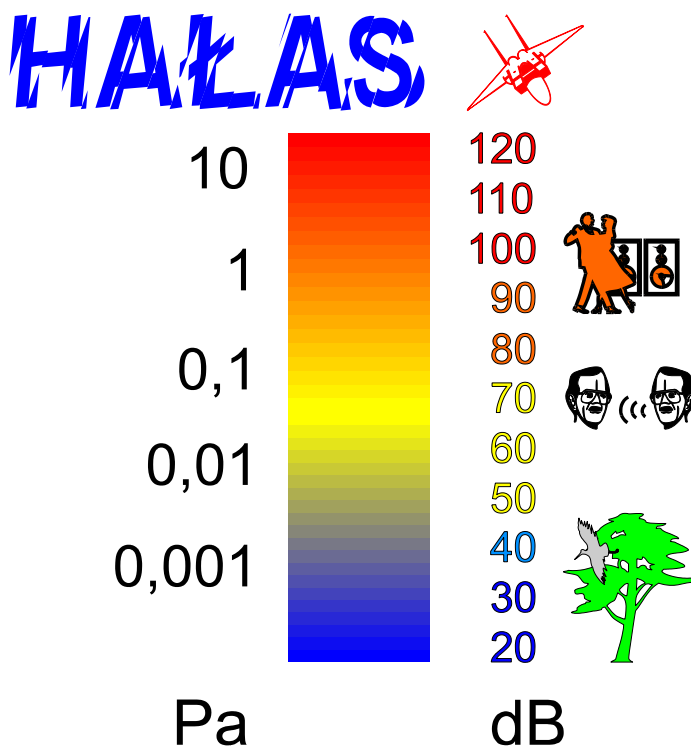
$$A_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2 dt}$$

Wartość szczytowa (PEAK) ciśnienia akustycznego:

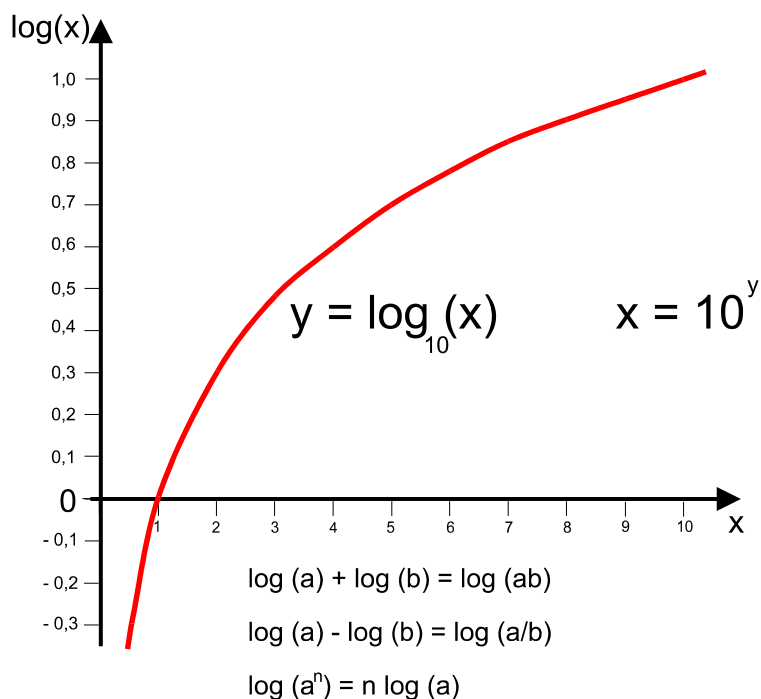
- maksymalna wartość amplitudy sygnału w czasie obserwacji (na rys. A_{peak})

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 μ 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 logarytmicznych, 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 $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$:

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

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

Uwaga: decybel, tak samo jak bel **nie jest jednostką fizyczną!** - jest to skala pomiarowa !

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 potęgze 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 numer”

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:

- w przewodniku metrologii VIM^{*)} (fragment VIM 1.9) jest wręcz następująca uwaga, że:
„Jednostki miary wielkości o wymiarze jeden sa 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.

...zabawa dla „matematyków” - inaczej można „poziom wyrażony w decybelach” zdefiniować tak:

$$L_p = \log_{\sqrt[10]{10}} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right), \text{ dB}$$

czyli:

$$L_p = \log_{1,259..} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right), \text{ dB}$$

...ale to jest bardzo niepraktyczne... ;-)

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 3.7)

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:

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

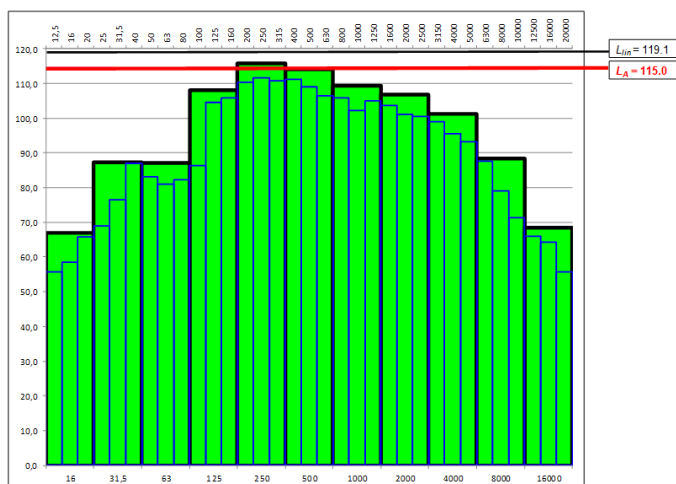
Ale nie zmienia to wyżej wymienionego schematu działania !!!

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**suma energetyczna**”!

Zasada sumowania obowiązuje również dla pasm w widmie hałasu:

- każda oktawa jest „sumą” energii akustycznej z 3 składowych „tercji”

oktawy		tercje	
f[Hz]	Lev[dB]	f[Hz]	Lev[dB]
16	66,9	12,5	55,8
		16	58,6
		20	65,8
31,5	87,4	25	69,1
		31,5	76,4
		40	87,0
63	87,0	50	83,2
		63	80,9
		80	82,2
125	108,2	100	86,3
		125	104,5
		160	105,8
250	115,7	200	110,3
		250	111,7
		315	110,8
500	114,1	400	111,1
		500	109,1
		630	106,5
1000	109,3	800	105,8
		1000	102,2
		1250	104,9
2000	106,8	1600	103,8
		2000	101,1
		2500	100,5
4000	101,3	3150	98,9
		4000	95,6
		5000	93,3
8000	88,3	6300	87,6
		8000	79,0
		10000	71,3
16000	68,5	12500	66,1
		16000	64,3
		20000	55,8
TOT_A	115,0	TOT_A	115,0
TOT_Lin	119,1	TOT_Lin	119,1



3.4.2. Średnia poziomów

W celu określenia średniego oddziaływania dwóch fal akustycznych o danych poziomach ciśnienia akustycznego (poziomach dźwięku) należy zsumować arytmetycznie ich ekspozycje względne i podzielić przez 2.

Rachunek jest przeprowadzany w następujący sposób:

Krok 1	$E_1 = 10^{\frac{L_1}{10}}$	$E_2 = 10^{\frac{L_2}{10}}$	(...„odlogarytmowujemy”...)*
Krok 2	$E = \frac{E_1 + E_2}{2}$		(...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:

$$L_{suma} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} \left(10^{0.1 \cdot L_1} + 10^{0.1 \cdot L_2} \right) \right]$$

Ale nie zmienia to wyżej wymienionego schematu działania !!!

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**średnia energetyczna**”!

3.4.3. 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	$E_1 = 10^{\frac{L_1}{10}}$	$E_2 = 10^{\frac{L_2}{10}}$	(...„odlogarytmowujemy”...)*
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:

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

Ale nie zmienia to wyżej wymienionego schematu działania !!!

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**różnica energetyczna**”!

3.4.3.1. Różnica poziomów - poprawka K_1

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

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

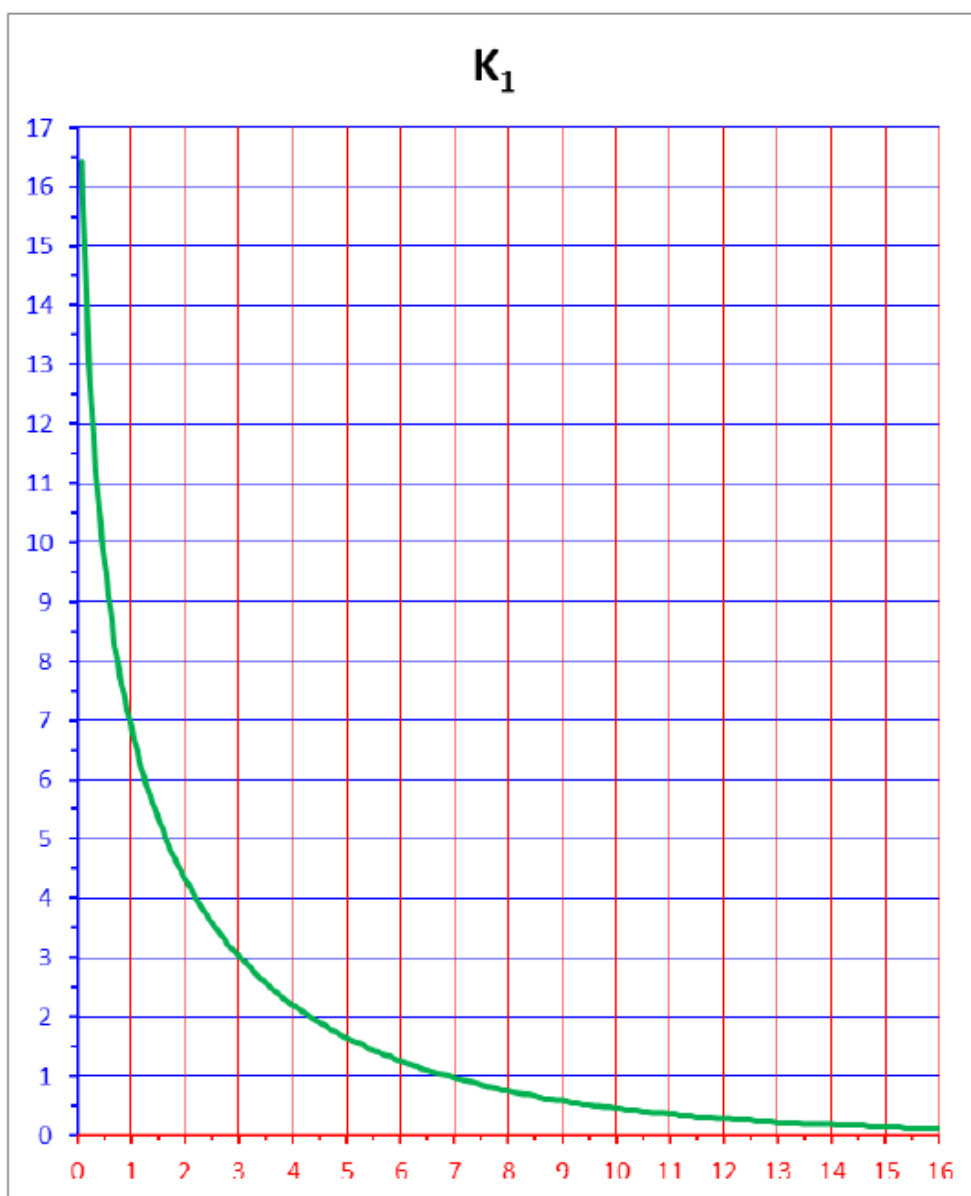
gdzie:

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

gdzie: $\Delta L = L_1 - L_2$

Poniżej tabela wartości poprawki K_1 oraz nomogram:

ΔL	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



Stąd możemy wnioskować o tzw. „**maskowaniu akustycznym**”, tj. jeżeli dwa poziomy różnią się o więcej niż 15 decybeli, to „słabszy” poziom nie wpływa już na wynik sumowania tych dźwięków (z dokładnością do 0,1 dB).

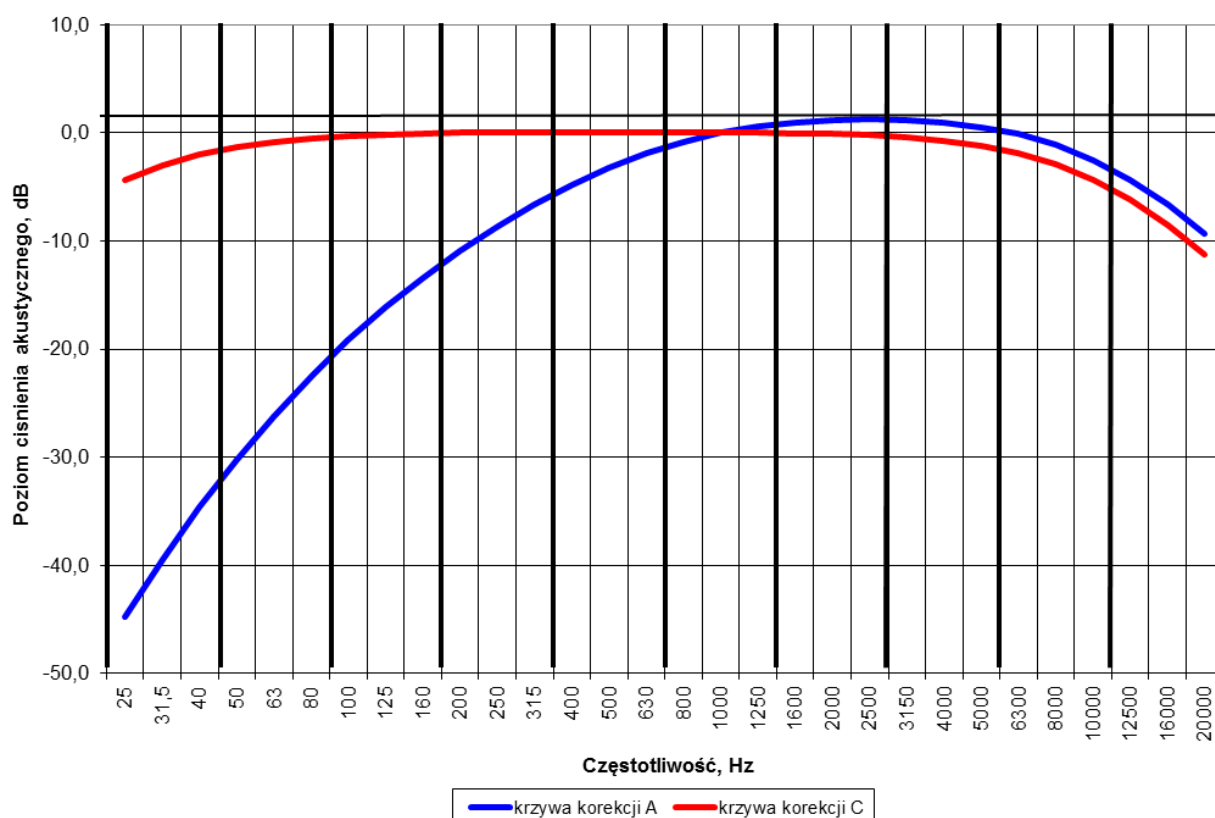
3.5. Korekcja częstotliwościowa

3.5.1. 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 zamieszczono w załączniku, a wykresy przedstawiono na poniższym rysunku:

Krzywe korekcyjne



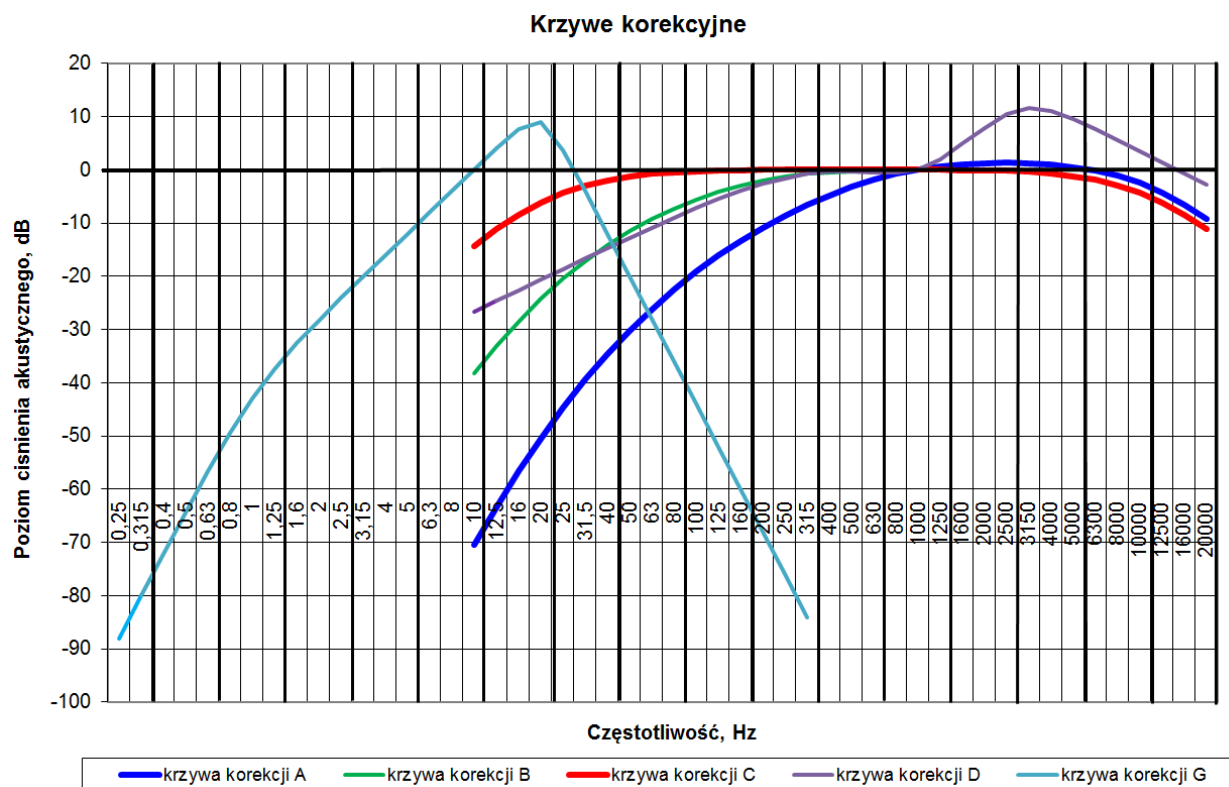
Interpretacja fizyczna krzywych korekcji:

- **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).

(tabele poprawek - patrz Załącznik w p.7.3)

3.5.2. Inne krzywe korekcyjne

Poniżej wykresy innych krzywych korekcji częstotliwościowych:



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

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

Wartości liczbowe zestawiono w załącznikach na końcu skryptu.

3.6. Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej, itd.

3.6.1. Poziom ciśnienia akustycznego (L_p)

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) !!!

3.6.2. Poziom dźwięku A (L_{pA})³

Poziom dźwięku A, wyrażony jw. w decybelach [dB], jest to poziom ciśnienia akustycznego dźwięku (jw.), 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_A - ciśnienie akustyczne skorygowane częstotliwościowo wg krzywej korekcyjnej A

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 Uwaga: „**Poziom dźwięku A**” (w decybelach) jest to określenie SKRÓTOWE w dziedzinie dot. hałasu i nie należy tego mylić z pojęciem muzycznym „**dźwięk A**”, który jest określany jako **konkretna częstotliwość w danej oktawie muzycznej**.

Analogicznie: „**poziom dźwięku C**” - nie mylić z muzycznym „**dźwiękiem C**”.

3.6.2.1. Poziom dźwięku A - obliczenie w pasmach tercyjnych

Określenie **poziomów dźwięku A** z pasm oktaowych od **63 Hz** do **8000 Hz**

$$L_A = 10 \cdot \lg \sum_{i=63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{(L_i + A_i)/10}$$

Poprawki widmowe krzywej korekcyjnej A:

f, Hz	A _i *dB*
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0,0
2000	1,2
4000	1,0
8000	-1,1

lub energetycznie - dla wartości ekspozycji względnych:

$$L_A = 10 \cdot \lg \sum_{i=63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} B_i \cdot E_i$$

Poprawki widmowe krzywej korekcyjnej A:

f, Hz	A _i *dB*	B _i = 10 ^{^(0,1A_i)}
63	-26,2	0,002
125	-16,1	0,025
250	-8,6	0,138
500	-3,2	0,479
1000	0,0	1,000
2000	1,2	1,318
4000	1,0	1,259
8000	-1,1	0,776

3.6.3. Maksymalny poziom dźwięku A przy stałej czasowej SLOW (L_{ASmax})

Maksymalny poziom dźwięku A jest to poziom **maksymalnej wartości RMS ciśnienia akustycznego** (w czasie obserwacji / pomiaru) - **z uwzględnieniem stałej czasowej SLOW⁴** - dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcyjną A:

$$L_{ASmax} = 10 \cdot \lg \frac{p_{A,S,RMS}^2}{p_0^2}, \text{ dB}$$

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

Analogicznie: -- L_{AFmax} - dla krzywej korekcyjnej A i stałej czasowej FAST (PN-B-02151-2:2018-01)
 -- L_{CFmax} - dla krzywej korekcyjnej C i stałej czasowej FAST
 -- L_{CSmax} - dla krzywej korekcyjnej C i stałej czasowej SLOW

3.6.4. Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak})

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.

⁴ stałe czasowe SLOW i FAST omówione dalej w [rozdziale 4.2.](#)

3.6.5. Wzorcowy poziom dźwięku (L_{nT}) (ozn.: L_{nT})

ang.: *Standardized Sound Level*

Poziom dźwięku skorygowany względem **czasu pogłosu pomieszczenia**⁵ z odniesieniem do wzorcowej wartości $T_0=0,5$ s ([akustyka wnętrz - 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] - patrz rozdział 3.10.
- T_0 - wzorcowy czas pogłosu odniesienia, $T_0=0,5$ s

3.6.6. Znormalizowany poziom dźwięku (L_n) (ozn.: L_n)

ang.: *Normalized Sound Level*

Poziom dźwięku skorygowany względem **chłonności akustycznej pomieszczenia**⁶ z odniesieniem do znormalizowanej wartości $A_0=10$ m²:

$$L_n = L - 10 \cdot \lg \frac{A_0}{A}, \text{ dB}$$

gdzie:

- L - poziom ciśnienia akustycznego - może być L_{Aeq} , L_{ASmax} lub L_{AFmax} , L_{oct} , i inne.
- T - chłonność akustyczna pomieszczenia [m²] - patrz rozdział 3.9.
- A_0 - znormalizowana chłonność akustyczna odniesienia, $A_0=10$ m²

Po zastosowania wzoru Sabine'a - patrz rozdział 3.10 - otrzymujemy:

$$L_{nT} = L - 10 \cdot \lg \frac{A_0 \cdot T}{0,16 \cdot V}, \text{ dB}$$

gdzie:

- L - poziom ciśnienia akustycznego - może być L_{Aeq} , L_{ASmax} lub L_{AFmax} , L_{oct} , i inne.
- T - czas pogłosu [s] - patrz rozdział 3.10.
- A_0 - znormalizowana chłonność akustyczna odniesienia, $A_0=10$ m²

⁵ definicja „czasu pogłosu” dalej w [3.10.](#)

⁶ definicja „chłonności akustycznej” dalej w [3.9](#)

3.6.7. Poziom mocy akustycznej (L_W)

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

Uwaga 2: Poziom mocy może występować z indeksami precyzującymi widmo lub czas, np. L_{WAeq} to „równoważny poziom mocy akustycznej A (skorygowany częstotliwościowo wg charakterystyki A)”

Zależność pomiędzy poziomem mocy akustycznej źródła a poziomem dźwięku w przestrzeni otaczającej źródło jest opisana wzorem⁷:

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

gdzie:

- L_W - poziom mocy akustycznej źródła hałasu
- S - powierzchnia fali dźwiękowej otaczająca źródło
- S_0 - powierzchnia odniesienia 1 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°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)

⁷ wzór przybliżony - prawdziwy dla powietrza w warunkach normalnych!

3.6.8. Poziom A energii akustycznej (L_{JA})

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 m^2
- L_E - poziom ekspozycyjny dźwięku (SEL) na powierzchni S

3.6.9. Poziom równoważny (L_{eq} lub LEQ)

UWAGA na początek:

Poziom równoważny, ekspozycji na hałas oraz długotrwały średni
zawsze musi być podawany dla określonego czasu obserwacji T

3.6.9.1. 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 $p_0 = 20 \mu Pa = 2 \cdot 10^{-5} Pa$

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

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

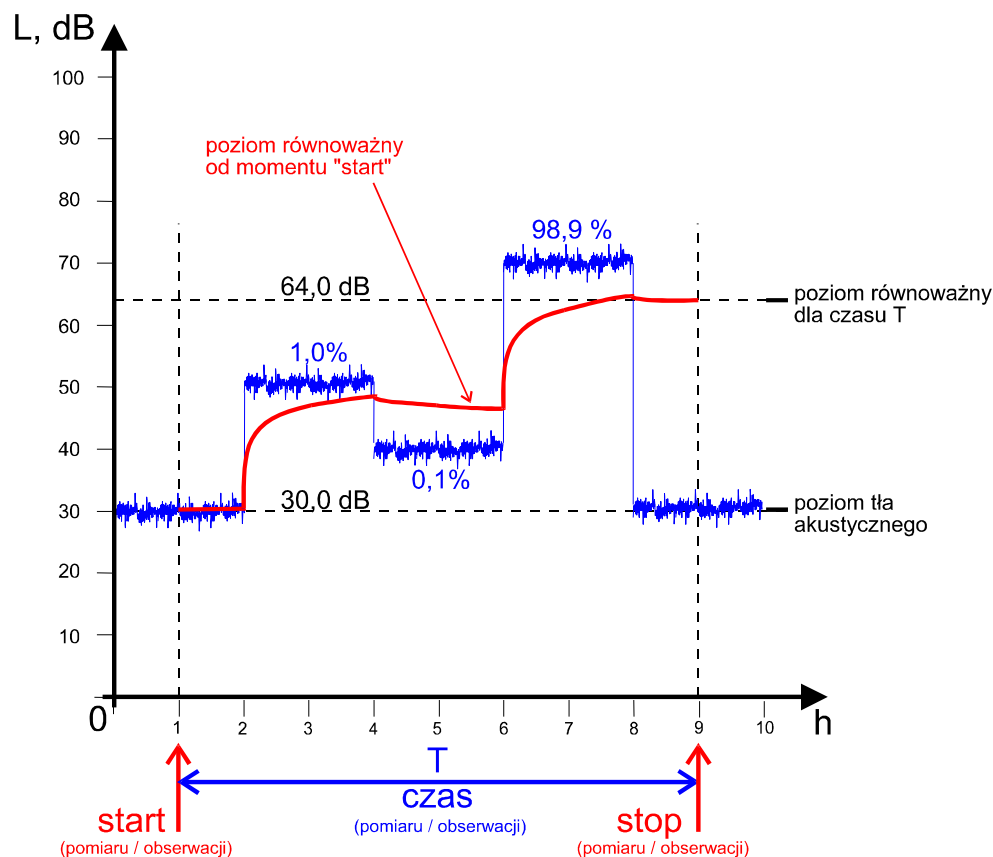
gdzie:

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

Czas obserwacji T to może być:

- przy pomiarach:
 - **czas faktycznej realizacji pomiaru** (np. cykl pracy) / **próbki pomiarowej** (np. 10s, 60s, 15min., 1h,)
- przy obliczeniach:
 - **normatywny czas obserwacji** (w zależności od wymagań normowych: np. 0,5h, 1h, 4h, 8h, 16h)

3.6.9.2. Interpretacja - przykład



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.

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**energetyczna średnia ważona udziałem czasu**”!

3.6.10. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do czasu 8-godzinnego dnia pracy (inaczej: **dzienny poziom ekspozycji na hałas**) ($L_{EX,8h}$)

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

3.6.10.1. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do nominalnego dnia czasu pracy

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 $T_e > T_0$

Zależność między *ekspozycją na hałas*, a *poziomem ekspozycji na hałas* (obie wartości odniesione do 8-godzinnego dnia pracy):

$$E_{A,8h} = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{EX,8h}} \quad [Pa^2 \cdot s]$$

3.6.10.2. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do nominalnego tygodnia czasu pracy

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

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

3.6.11. Obliczanie poziomu równoważnego lub poziomu ekspozycji na hałas

3.6.11.1. 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!

3.6.11.2. 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

3.6.12. Poziom ekspozycyjny (L_{AE} lub SEL)

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

Uwaga: nie mylić „poziomu ekspozycyjnego” (tj. L_{AE}) z „poziomem ekspozycji na hałas” (tj. $L_{EX,8h}$)

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!

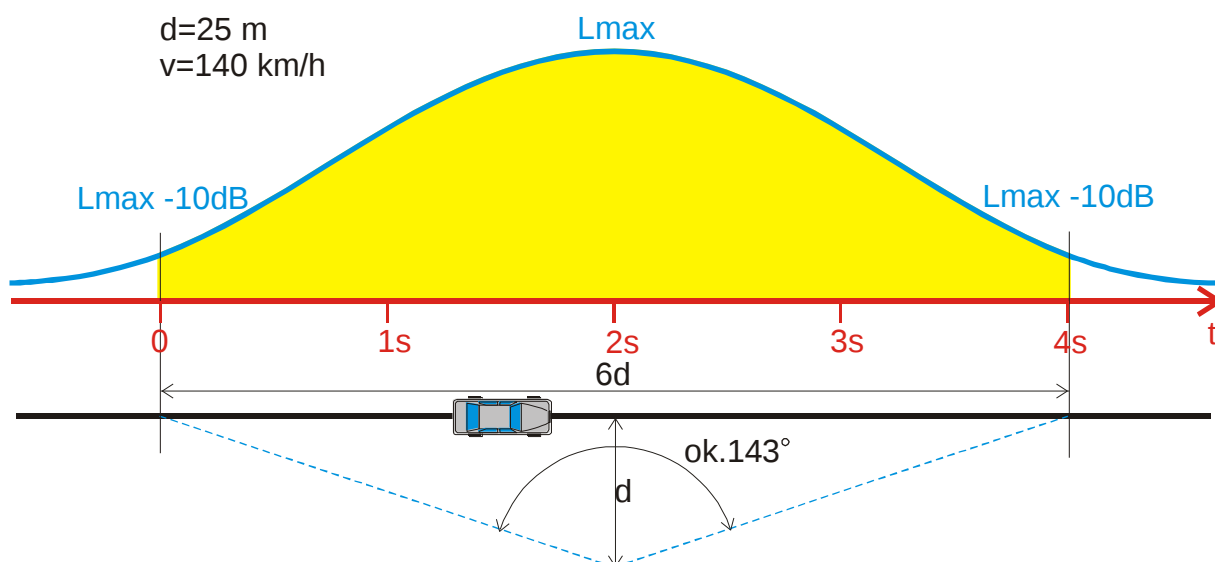
Może to być pojedynczy strzał czy przejazd / przelot, ale też cały pojedynczy cykl np. ładowania wagonu.

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!

Jednocześnie - jeśli chcemy pomiarowo scharakteryzować liniowe źródło hałasu - musi być widoczny odcinek 6x dłuższy niż odległość pomiarowa:



3.6.13. Poziom dziennie-wieczorno-nocny L_{DWN} (lub $LDEN$)

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

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

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

Uwaga:

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

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

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

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

3.6.13.1. Obliczanie poziomu długotrwałego średniego L_D , L_W i L_N

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**” (slang!) poziomów dźwięku - odpowiada to **średniej arytmetycznej** energii. tj. z wartości składowych **ekspozycji względnych !!!**

Formalna nazwa wzoru to: „**średnia energetyczna**”!

3.6.14. Poziomy statystyczne (L_n)

UWAGA: nie mylić poziomu statystycznego z identycznie oznaczanym poziomem znormalizowanym (patrz 3.6.6.)!

Poziomy statystyczne L_n są definiowane jako wartość poziomu dźwięku, która jest przekraczana w ciągu $n\%$ procent czasu obserwacji (pomiaru).

I tak, dla wybranych kilku najczęściej stosowanych *poziomów statystycznych*:

- L_1 - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **1% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *quasi-maksymalny*;
- L_5 - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **5% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *bardzo wysoki* - z odrzuceniem tylko najwyższych wartości występujących właśnie w ciągu tych 5% czasu;
- L_{10} - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **10% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *wysoki* - z odrzuceniem tylko najwyższych wartości występujących właśnie w ciągu tych 10% czasu;
- L_{50} - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **50% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom odpowiadający *medianie statystycznej* - czyli *pół na pół* - statystycznie jest to „*mediana*”;
- L_{90} - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **90% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *niski* - wartości niższe występują tylko w ciągu 10% czasu;
- L_{95} - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **95% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *bardzo niski* - wartości niższe występują tylko w ciągu 5% czasu;
- uwaga: czasami ten poziom jest nazywany „*tłem akustycznym*” (np. w metodykach pomiaru hałasu komunikacyjnego w środowisku zewnętrznym), ale **nie należy** mylić tego z pojęciem „*pomiarowego tła akustycznego*”, bo nie ma żadnego uzasadnienia przyczynowo-skutkowego dla takiego podejścia!
- L_{99} - oznacza, że badany dźwięk przekracza tą wartość w ciągu **99% czasu obserwacji** (pomiaru) - jest to poziom *quasi-minimalny* - wartości niższe występują tylko w ciągu 1% czasu;

Są też konstruowane wskaźniki zawierające kombinacje poziomów statystycznych - w polskich przepisach nie występują.

3.7. Krotność

Ze względu na fakt, że poziomy dźwięku wyrażone w *decybelach*, które są oparte na wzorze zawierającym funkcję *logarytmu dziesiętnego*, nie są „liniowe” względem energii fali akustycznej jaka reprezentują - zachodzi oczywista trudność w określaniu skali ewentualnych przekroczeń wartości dopuszczalnych - które mogą być prezentowane np. procentowo (patrz tabelka w kolejnym podrozdziale) lub krotnościowo - jako iloraz energii:

Definicja *krotności k*:

$$k = 10^{\frac{L_{\text{zmierzone}} - L_{\text{odniesienia}}}{10}} \quad \text{lub ogólnie} \quad k = 10^{\frac{\Delta L}{10}}$$

Wyprowadzenie wzoru (dla celów dydaktycznych):

$$k = \frac{\text{energia fali zmierzonej}}{\text{energ\bar{a} fali poziomu odniesienia}} = \frac{10^{\frac{L_{\text{zmierzone}}}{10}}}{10^{\frac{L_{\text{odniesienia}}}{10}}} = 10^{\frac{L_{\text{zmierzone}} - L_{\text{odniesienia}}}{10}}$$

I zgodnie ze wzorem na *krotność* otrzymujemy (przykładowo):

poziom odniesienia	poziom zmierzony	różnica poziomów	krotność (wartości zaokrąglone)	procent energii odniesienia	(-) zmniejszenie / (+) zwiększenie	zmniejszenie
$L_{\text{odniesienia}}$	$L_{\text{zmierzony}}$	ΔL [dB]	k	p	$\pm p\%$	<i>razy</i>
85	45	-40	0,0001	0,01%	o -99,99%	10 000
85	55	-30	0,001	0,1%	o -99,9%	1000
85	65	-20	0,01	1%	o -99%	100
85	70	-15	0,0316	3%	o -97%	
85	75	-10	0,1	10%	o -90%	10
85	78	-7	0,2	20%	o -80%	5
85	80	-5	0,316	32%	o -68%	
85	82	-3	0,5	50%	o -50%	2
85	84	-1	0,79	79%	o -21%	
85	85	0	1	100%	to samo	
85	86	+1	1,26	126%	o +26%	
85	88	+3	2	200%	o +100%	2
85	90	+5	3,16	316%	o +216%	
85	92	+7	5	501%	o +401%	5
85	95	+10	10	1000%	o +900%	10
85	100	+15	31,6	3 162%	o +3062%	
85	105	+20	100	10 000%	o +9900%	100
85	110	+25	316	31 623%	o +31 523%	
85	115	+30	1000	100 000%	o +99 900%	1000
						zwiększenie

3.8. Sumowanie „logarytmiczne”⁸ 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 !!!

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**suma energetyczna**”!

STĄD:

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

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

Tabelka 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
10logx	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” dB Zmniejszenie poziomu na skali decybelowej
10%	90%	-0,5 dB
20,6%*	79,4%	-1 dB
25%	75%	-1,2 dB
33% (o $\frac{1}{3}$)	66%	-1,8 dB
50% (o połowę)	50%	-3 dB
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 !!!

⁸ jest to *slang* akustyków! ...matematycy nie znają takiego pojęcia! ;-)

3.9. Chłoność akustyczna pomieszczenia

Chłoność akustyczna jest wyrażana w metrach kwadratowych [m²]:

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

gdzie:

- α_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
SCIANY:						
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
PODLOGI:						
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
USTROJE:						
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
OSOBY:						
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 α
(PN-EN ISO 3746:2011)

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

UWAGA: zdecydowanie odradzam stosowanie tej tabeli w badaniach akustycznych!

(...bo jeśli pomylisz się o 2 kategorie, to zsumuj różnice w ramach...)

Należy zmierzyć CZAS POGŁOSU i na tej podstawie określić chłonność akustyczną!
- patrz następny rozdział...

3.10. Czas pogłosu

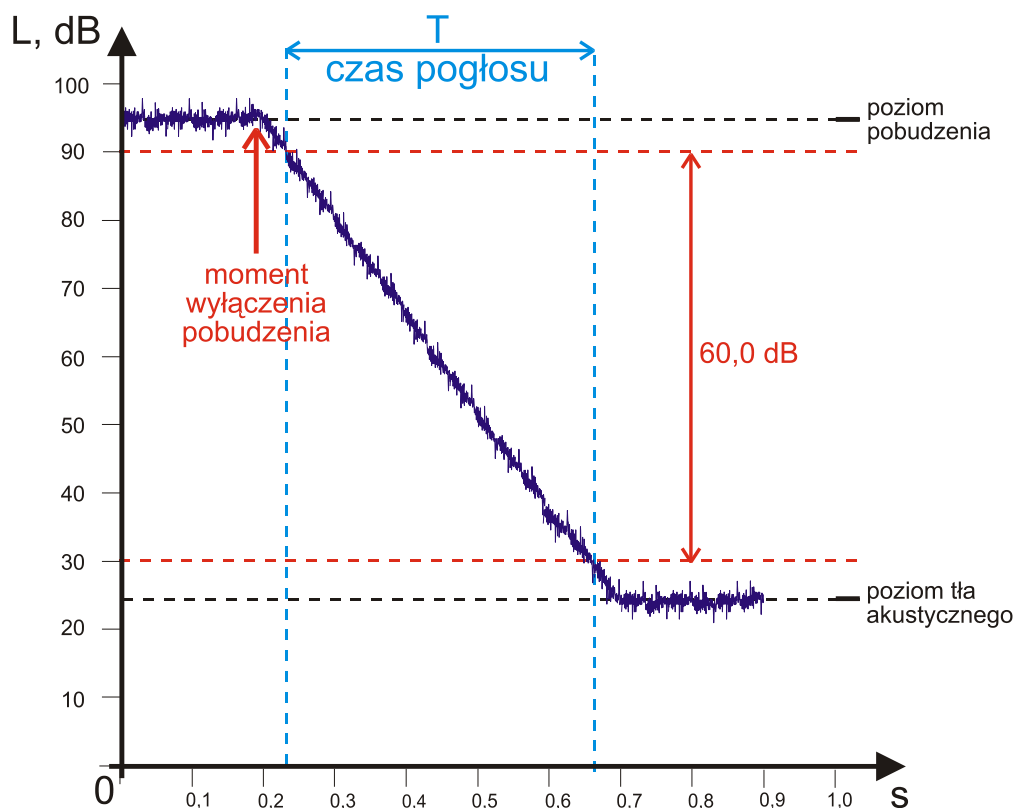
Zależność chłonności akustycznej od czasu pogłosu opisuje wzór Sabine'a [czyt. "*sebajn*"a]:

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

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. wskutek 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).

...a jeszcze praktyczniej robi się to dla dwóch dowolnych punktów i określa się RT dla spadku 60 dB z przybliżenia liniowego... ;-)

3.11. Poprawka środowiskowa K_{2A}

Poprawka środowiskowa K_{2A} jest wykorzystywana przy pomiarach poziomu dźwięku w pomieszczeniach, gdzie występuje pogłos, i służy do korekcji uzyskanych wyników, żeby otrzymać wynik końcowy jak dla pola swobodnego w przestrzeni otwartej.

Oznaczenia: S - pole powierzchni pomiarowej otaczającej obiekt, A - chłonność akustyczna pomieszczenia, V - objętość pomieszczenia, T - czas pogłosu (RT60)

$$K_{2A} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{4S}{A} \right)$$

Wykorzystując wzór Sabine'a:

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad \text{otrzymujemy:} \quad K_{2A} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{S}{0,04 \cdot V} \cdot T \right)$$

Ale **uwaga** - jeśli się określa chłonność na podstawie sumy pola powierzchni ścian, podłogi i sufitu (S_V) oraz **średniego współczynnika pochłaniania** α_{sr} - to otrzymujemy wzór:

$$K_{2A} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{4S}{A} \right) = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{4S_{pp}}{\alpha_{sr} \cdot S_V} \right)$$

Pełniony błąd w poprawce K_{2A} będzie silnie zależał od stosunku S_{pp} / S_V :

K_{2A}	$S_{\text{pow.pomiarowej}} / S_{\text{pomieszczenia}}$						
α	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
0,05	2,6	4,1	7,0	9,5	11,1	12,3	13,2
0,10	1,5	2,6	4,8	7,0	8,5	9,5	10,4
0,15	1,0	1,9	3,7	5,6	7,0	8,0	8,8
0,20	0,8	1,5	3,0	4,8	6,0	7,0	7,8
0,25	0,6	1,2	2,6	4,1	5,3	6,2	7,0

Różnice pomiędzy każdymi dwiema kategoriami współczynnika pochłaniania α :

Δ	$S_{\text{pow.pomiarowej}} / S_{\text{pomieszczenia}}$						
α	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
0,05							
0,10	1,1	1,6	2,2	2,6	2,7	2,8	2,8
0,15	0,4	0,7	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6
0,20	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1
0,25	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8

UWAGA: zdecydowanie odradzam stosowanie współczynników pochłaniania do określania chłonności akustycznej pomieszczenia!

4. Pomiar poziomu dźwięku

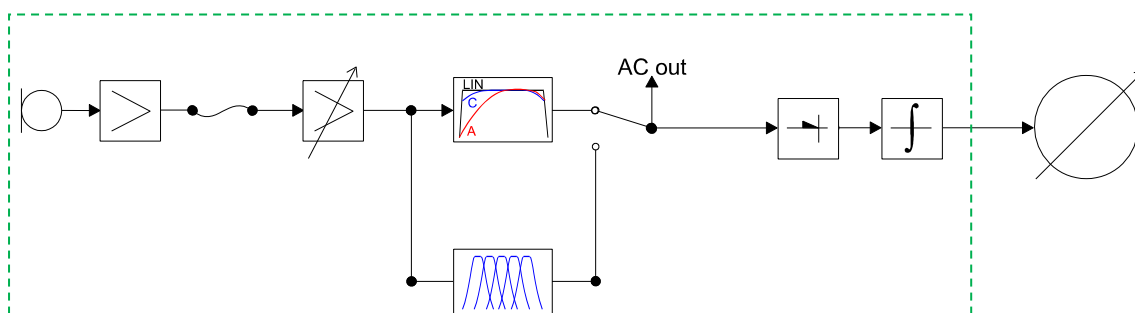
4.1. Schemat ideowy miernika

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

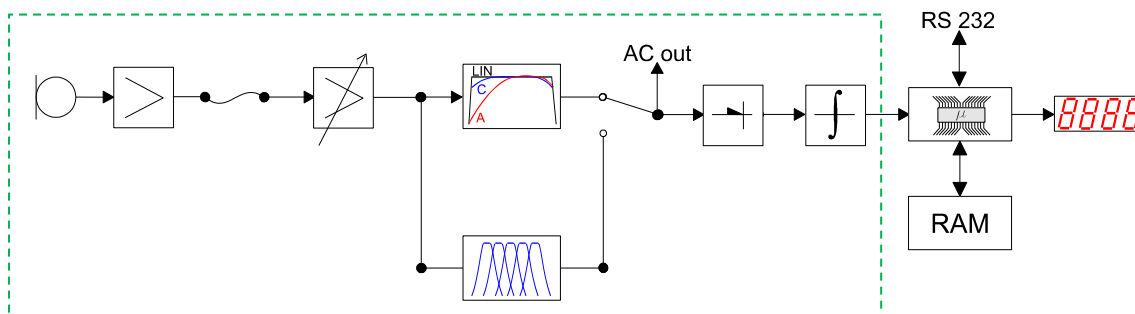
- mikrofon - przetwornik akustyczno-mechaniczny,
- przedwzmacniacz - dopasowujący charakterystykę elektryczną mikrofonu do układu miernika,
- zestaw filtrów korekcyjnych (LIN, A, C),
- układ stałych czasowych (SLOW, FAST, IMPULS),
- detektor RMS i/lub PEAK,
- układ całkujący,
- wskaźnik lub wyświetlacz

Budowę miernika przedstawiono na poniższych przykładach:

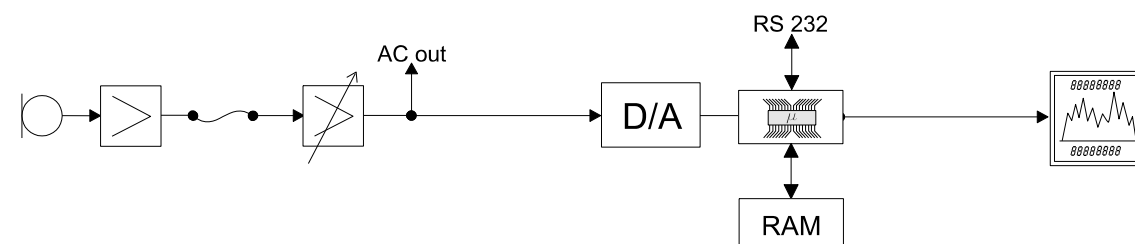
A. miernik analogowy - wskaźnik wskazówkowy (np. Sonopan I-01, Brüel&Kjær 2209)



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



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



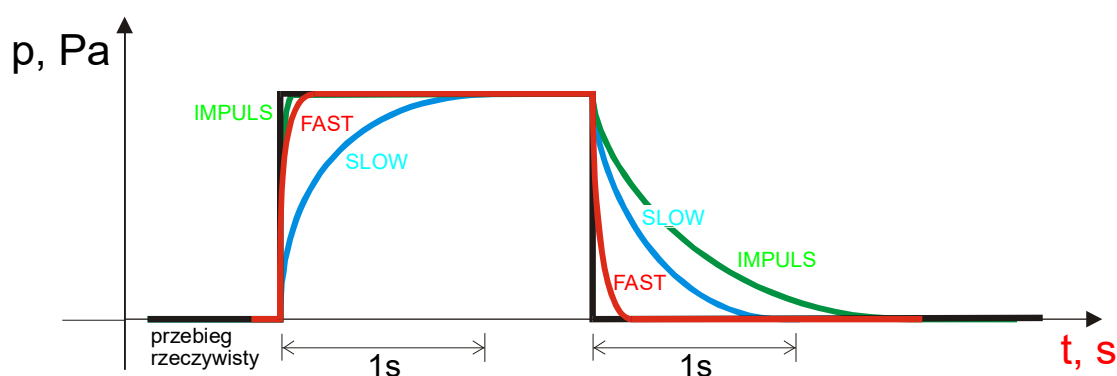
4.2. Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS

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 w Polsce nie są normowane

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



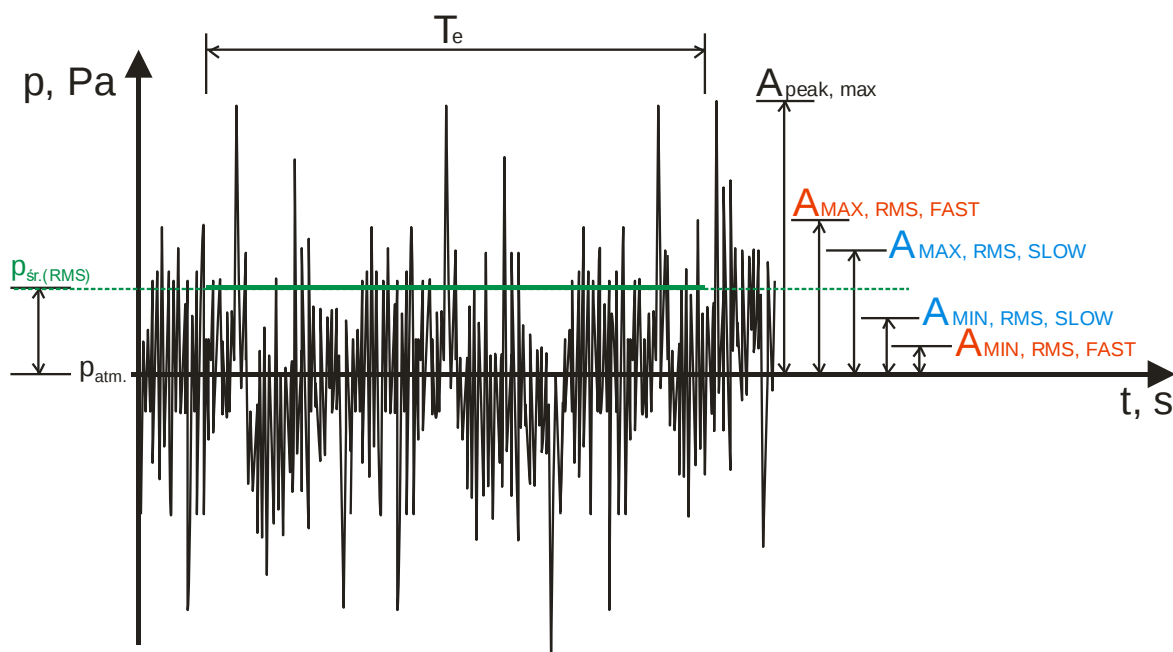
Wpływ stałych czasowych na wynik pomiaru przedstawia kolejny rysunek.

Stała czasowa SLOW wypukla 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**)⁹, 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,
- wartość wrażliwa na ustawioną stałą czasową (FAST / SLOW) - na ogół **nie nadaje się do interpretacji pomiarowej** - najczęściej służy do orientacyjnego poszukiwania najgłośniejszego miejsca!
- **LEQ** - *Equivalent Level* - równoważny poziom dźwięku z czasu pomiaru,
- **SEL lub L_E** - *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.

⁹ w starych miernikach - analogowych:

- we wskazówkowych - należało ustawić w pierw zakres pomiarowy, a potem odczytać wartość przy której zatrzymała się (...tylko dla dźwięków stałych...) wskazówka i zsumować z wartością ustawionego zakresu;
- w pierwszych z cyfrowym wyświetlaczem - wystarczyło ustawić sam zakres - wynik na wyświetlaczu podawał ostateczną wartość;

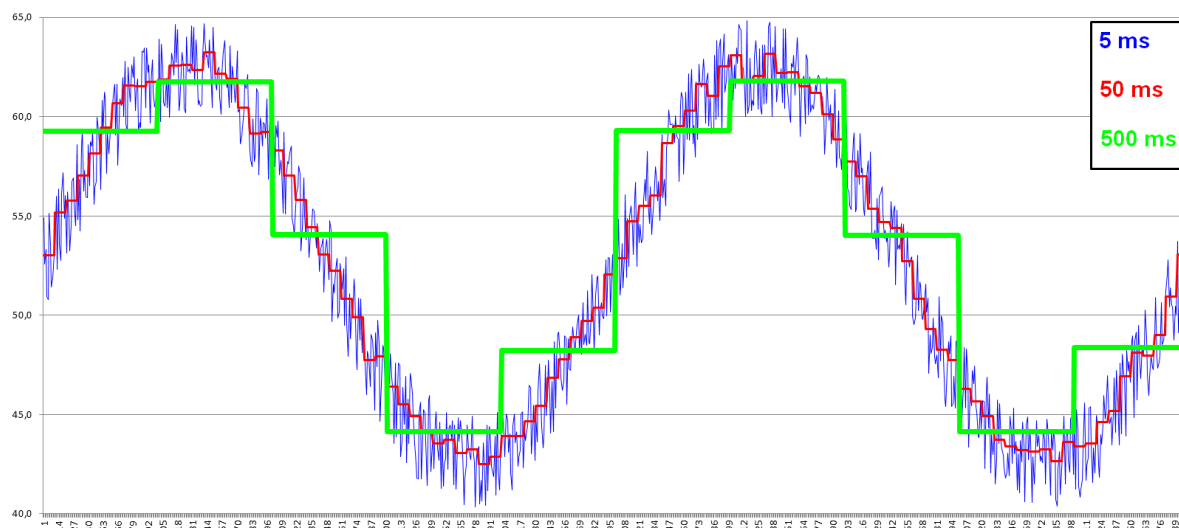
Uwaga: każdy pomiar należało rozpoczynać z ustawionym maksymalnym zakresem, żeby nie uszkodzić miernika!

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.

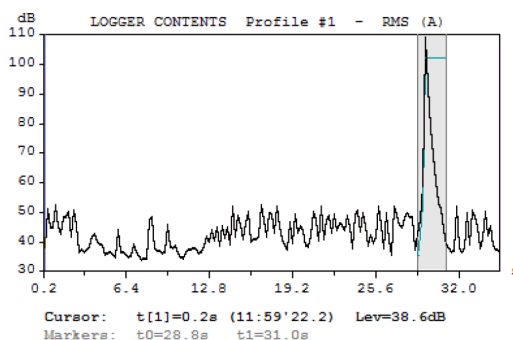
Poniżej przykłady:

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

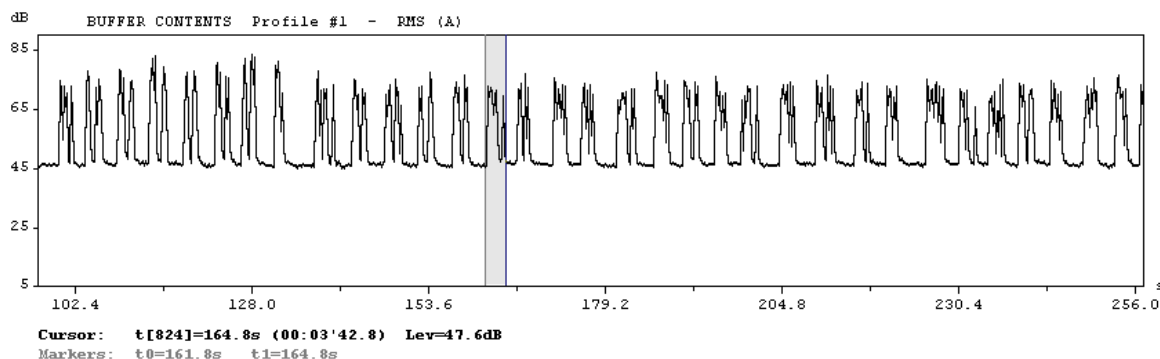


Uwaga: wartości próbek o krótszym czasie sumują się do wartości o dłuższym czasie na zasadach ogólnych - patrz rozdział 3.4.1 oraz 3.7.

- 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** (tj. „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:

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

Formalna nazwa wzoru powinna brzmieć: „**różnica energetyczna**”!

UWAGA 1:

Wg niektórych (starych) norm funkcjonowała zasada, że w przypadku różnicy pomiędzy poziomem *imisji hałasu* a poziomem *tła akustycznego* powyżej 10 dB można pominąć wpływ tła akustycznego - **było to praktyczne dla mierników wskazówkowych, które dawały odczyt z dokładnością do 1 dB.**

Jednak obecnie - przy zastosowaniu powyższej zasady - należałoby uwzględnić błąd związany z takim uproszczeniem (tj. 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 - pomiary

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 ww. rozporządzenia w Dz.U. z 22.01.2014r. poz.112.;
- spec-ustawa z dnia 25.07.2025r. o *szczególnych zasadach przygotowania i realizacji strategicznych inwestycji w zakresie potrzeb obronności państwa lub kluczowych inwestycji w zakresie potrzeb obronności państwa lub bezpieczeństwa publicznego oraz ustanawiania stref ochronnych terenów zamkniętych* (Dz.U. 2025 poz.1080 z 07.08.2025r.) - **obowiązuje od 07.09.2025r.;**
 - „Metodyka referencyjna wykonywania okresowych **pomiarów hałasu w środowisku**, pochodzącego od instalacji lub urządzeń, z wyjątkiem hałasu impulsowego” - Załącznik Nr 7 do rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 września 2021 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz.U. 2023r. poz.1706);
 - „Metodyka referencyjna wykonywania okresowych **pomiarów hałasu impulsowego w środowisku**, pochodzącego od instalacji lub urządzeń” - Załącznik Nr 8 do rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 września 2021 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz.U. 2023r. poz.1706);
 - „Referencyjna metodyka wykonywania okresowych pomiarów poziomów hałasu wprowadzanego do środowiska przez **starty, lądowania i przeloty statków powietrznych w związku z eksploatacją lotnisk** oraz kryteria lokalizacji punktów pomiarowych” - Załącznik Nr 2 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. Nr 140 z dnia 7 lipca 2011 r., poz.824);
 - „Referencyjna metodyka wykonywania okresowych pomiarów poziomów hałasu wprowadzanego do środowiska **w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych i linii tramwajowych** oraz kryteria lokalizacji punktów pomiarowych” - Załącznik nr 3 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz.U. Nr 140 z dnia 7 lipca 2011 r., poz.824, ze zm. Dz.U. Nr 288 z 2011r. poz.1697) - weszła w życie 22.07.2011r.

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 (obowiązujące dla projektów od 01.08.2024r.):

- **PN-B-02151-2:2018-01** - „Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach”, - ta norma powołuje jako metodyki pomiarowe 2 poniższe normy:
- **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.”
- jest już nowa wersja ww. normy, ale nie wprowadzona do obiegu (**stan na 20.03.2025r.**): **PN-EN ISO 16032:2024-09** pt. "Akustyka. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego od urządzeń wyposażenia technicznego lub czynności wykonywanych w budynkach. Metoda dokładna."

5.1.3. Stanowiska pracy

- **PN-EN ISO 9612:2011** - „Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna”
- **w przygotowaniu: PN-EN ISO 9612:2025-11** - „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 hałas**.
- 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 **imisi** 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" (dla obiektów projektowanych od 1987r. do 31.07.2024r.)

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 - 8 h - kolejnych najniekorzystniejszych
w nocy - $\frac{1}{2}$ h - najniekorzystniejsza

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

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

punkty pomiarowe: 1.2m $\pm$ 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 >60m³ (pom. dla ludzi)

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

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

Δ	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 niezagospodarowanych:

pomieszczenie		K_2
pokoje	$V < 25\text{m}^3$	-5 dB
	$25 \div 40\text{m}^3$	-4 dB
	$40 \div 60\text{m}^3$	-3 dB
	$V > 60\text{m}^3$	-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 :

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

- 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**.

- szczegóły w Polskiej Normie 9612:2011...

6. Prognozowanie emisji hałasu do środowiska

6.1. Wzór podstawowy

Zależność pomiędzy poziomem mocy akustycznej źródła a poziomem dźwięku w przestrzeni otaczającej źródło jest opisana wzorem¹⁰:

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

gdzie:

- L_W - poziom mocy akustycznej źródła hałasu
- S - powierzchnia fali dźwiękowej otaczająca źródło
- S_0 - powierzchnia odniesienia 1 m²
- L_p - poziom dźwięku na powierzchni S

Rozwinięcie powyższego wzoru jest podstawą wszelkich modeli obliczeniowych, np.:

- Instrukcja **ITB-338/2008**
pt.: „Metoda określania emisji i imisji hałasu w środowisku” (Warszawa, 2008):

$$L(r) = L_W + K_0 - D_I - \Delta L_b - \Delta L_r - \Delta L_e - \Delta L_z - \Delta L_p - 11, \text{ dB}$$

gdzie:

- $L(r)$ - poziom dźwięku w punkcie obserwacji w odległości r od źródła hałasu
- L_W - **poziom mocy akustycznej źródła hałasu**
- K_0 - poprawka dla zewn. źródeł dot. kąta bryłowego emisji promieniowania
- D_I - poprawka na oddziaływanie kierunkowe źródła zewnętrznego
- ΔL_b - poprawka na oddziaływanie kierunkowe budynku
- ΔL_r - wpływ odległości r
- ΔL_e - ekranowanie przez przeszkody terenowe
- ΔL_z - tłumienie przez pasy zieleni
- ΔL_p - tłumienie przez powietrze

- **PN ISO 9613-2** (wrzesień 2002)
pt.: „Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej”:

$$L_{fit}(DW) = L_W + D_c - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc})$$

gdzie:

- $L_{fit}(DW)$ - poziom dźwięku w punkcie obserwacji w odległości r od źródła hałasu
- L_W - **poziom mocy akustycznej źródła hałasu**
- D_c - poprawka na kąta bryłowego emisji promieniowania i oddziaływanie kierunkowe źródła zewnętrznego
- A_{div} - wpływ odległości r
- A_{atm} - tłumienie przez powietrze
- A_{gr} - „tłumienie” przez grunt
- A_{bar} - ekranowanie przez przeszkody terenowe
- A_{misc} - pozostałe czynniki tłumienia

¹⁰ wzór przybliżony - prawdziwy dla powietrza w warunkach normalnych!

6.2. Poziom mocy akustycznej źródła punkowego

Przypadki szczególne propagacji hałasu:

1. Źródło punktowe

- powierzchnia (fala) sferyczna

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

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

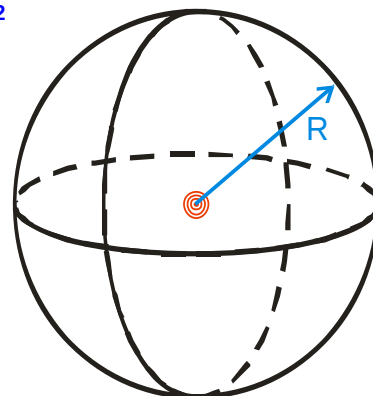
$$L_p = L_w - 20 \cdot \log_{10}(R) - 11,0$$

... 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

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

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

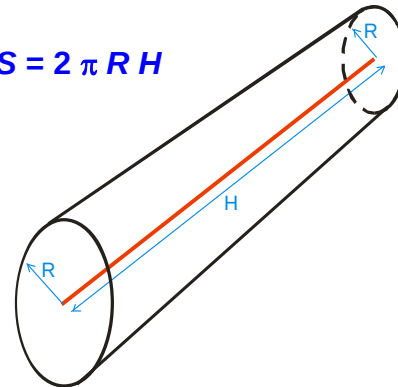
...a nad powierzchnią odbijającą:

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

Ogólnie:

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

$$S = 2 \pi R H$$



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 $R < \sqrt{ah}$

- płaszczyzna prostokątna (fala płaska)

(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 !

$$S = a \times h$$

Dla wszystkich uprzednio wymienionych typów źródeł, po odwróceniu wzorów, mamy odpowiednie **poziomy mocy akustycznej**:

6.2.1. Źródło punktowe

($R \geq 2$ wymiar lub wg MK: $R \sim$ wymiar) - powierzchnia (fala) sferyczna

$$L_W = L_p + 8 + 20 \cdot \lg R$$

(np. wentylator, ale też dowolny obiekt z dużej odległości!)

6.2.2. Źródło liniowe o długości L

($R \ll L$) - powierzchnia (fala) cylindryczna

$$L_{W,1m} = L_p + 5 + 10 \cdot \lg R$$

$$L_W = L_{W,1m} + 10 \cdot \lg L$$

(np. taśmociąg, rurociąg, droga, linia kolejowa, ale też trasa przejazdu pojedynczego pojazdu!)

6.2.3. Źródło powierzchniowe o polu powierzchni S

($R \ll a$ oraz $R \ll h$) - płaszczyzna (fala płaska)

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg S$$

(np. w kanale powietrznym, w świetle otworu okna, drzwi lub bramy, przy ścianie - **uśrednić przestrzennie !**)

6.2.4. Źródło typu „budynek”

Uwaga wstępna 1:

UNIKAJ stosowania tego typu źródła, jeśli nie masz wiedzy i wiarygodnych danych...

Uwaga wstępna 2:

...na ogół i tak są to źródła nieistotne wobec innych, dominujących emitorów hałasu.

Ale jak już wiesz dlaczego i po co masz użyć „źródła-BUDYNKU”, to zastosujesz przy wprowadzaniu danych następujący wzór (wg ITB-338/2008):

$$L_{Weq} = L_{Aeq\ wew} + 10 \log S - R_A - 6$$

gdzie:

- | | |
|-----------|--|
| L_{Weq} | - poziom mocy akustycznej całej ściany |
| S | - powierzchnia ściany w [m ²] |
| R_A | - wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1}$ lub $R_{A,2}$ w zależności od sytuacji (rodzaju hałasu) |

Uwaga 1:

- możesz źle oszacować **poziom hałasu wewnątrz** obiektu i nie wiesz w którą stronę robisz błąd,
- możesz źle oszacować **izolacyjność akustyczną** - i też nie wiesz w którą stronę robisz błąd,
- zgodnie z Prawami Murphy’ego błędy mają tendencję do kumulowania się...

cbdo.

Uwaga 2:

Uwaga dla osób preferujących (z niezrozumiałych względów...) wykorzystywanie obiektów kubaturowych jako „**źródła-budynki**” w obliczeniach emisji hałasu do środowiska:

- dla przykładu z pewnego opracowania:
 - każda z hal kurnika ma wymiary ok. 92m x 18m x h=7m - tym samym „**największa elewacja emitująca hałas**” ma powierzchnię ok. **644 m²** (=92 x 7)
- zakładając wewnątrz nawet stały hałas gdakania/kwakania czy taśmociągu o poziomie **$L_{Aeq}=75$ dB** (jest to kurnik) i niezbyt wygórowaną izolacyjność akustyczną na poziomie **$R_w=15$ dB**, otrzymujemy źródło zastępcze o mocy akustycznej (wg Instrukcja ITB 338/2008):

$$L_{Weq} = L_{Aeq\ wew} + 10 \log S - R_A - 6$$

i podstawiając dane otrzymujemy:

$$75 + 10 \lg(644) - 15 - 6 = 75 + 28,1 - 15 - 6 = \mathbf{82,1\ dB}$$

...co przy źródłach zewnętrznych tego samego obiektu (wentylatory) o poziomach mocy rzędu 100 dB (każdy!) **jest bardzo skutecznie maskowane akustycznie!**

6.3. Wpływ odległości r (ITB-338) lub d (PN ISO 9613-2)

Modele obliczeniowe opierają się na symulacji wszelkiego typu źródeł źródłami punktowymi (źródła zastępcze), np.:

- Instrukcja **ITB-338/2008** : $\Delta L_r = 20 \log \frac{r}{r_0}$
(r - odległość od źródła)
- **PN ISO 9613-2:2002** : $A_{\text{div}} = 20 \log (d / d_0) + 11$
(d - odległość od źródła)

(w obu powyższych modelach jest “wbudowany” spadek poziomu wg zależności od “ $20 \lg(r)$ ” !)

6.4. Tłumienie przez powietrze

$$\Delta L_p = \alpha_p \times r \quad (= A_{\text{atm}})$$

gdzie:

- α_p - współczynnik pochłaniania przez powietrze:
- dla temperatury 10°C i wilgotności 70% dla częstotliwości 500 Hz
 $\alpha_p = 1,9 \text{ dB/km}$
- r - odległość źródło - punkt obserwacji

Pochłanianie w powietrzu (w dB/km) ¹¹

	częstotliwość					
wilgotność	20 Hz	100 Hz	400 Hz	2 kHz	10 kHz	20 kHz
0%	0,51	1,67	1,96	4,14	26,3	75,4
20%	0,04	0,54	1,56	17,4	261,0	511,0
40%	0,02	0,44	1,72	8,34	155,0	508,0
60%	0,005	0,12	0,61	2,26	35,1	129,0
80%	0,01	0,27	2,03	6,19	77,0	289,0
100%	0,01	0,22	2,02	6,29	63,5	238,0

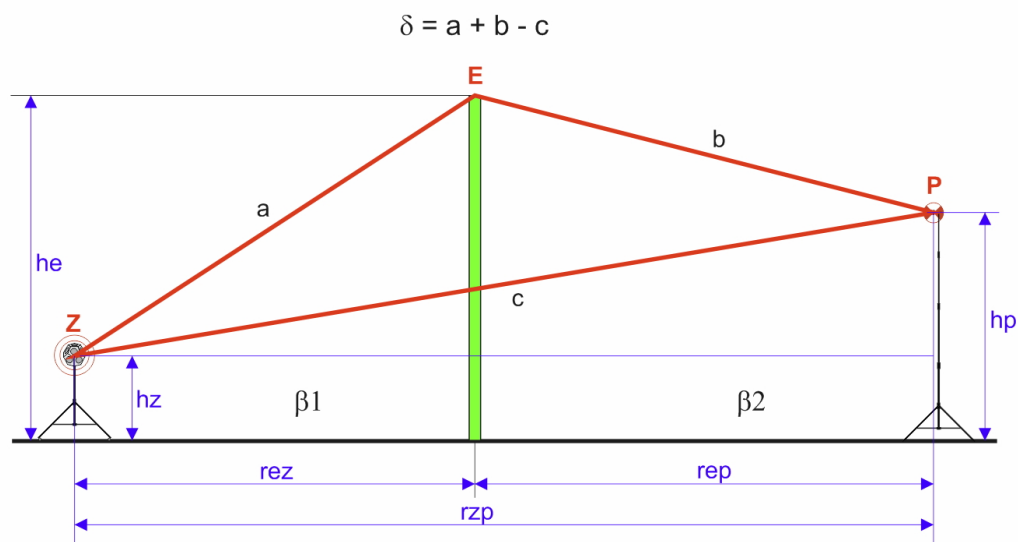
UWAGA: różnica w pochłanianiu między wilgotnością 80% a 100% jest pomijalna w zastosowaniach praktycznych - tj. **przy pomiarach hałasu w środowisku!**
(...dla typowych częstotliwości „przemysłowych” wpływ poniżej 0,1 dB / km!)

¹¹Tablice Fizyczno-Astronomiczne (Wydawnictwo Adamantan, Warszawa, 1995)

6.5. Ekranowanie

Skuteczność ekranowania wg PN-ISO-9613-2:2002 "Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania."¹²

- wzór implementowany w programach komputerowych prognozujących emisję hałasu!



$$\Delta L = 10 \cdot \lg \left(3 + \frac{20 \cdot \delta}{\lambda} \right) \quad (= A_{\text{bar}})$$

gdzie: δ - różnica dróg propagacji (wg powyższego rysunku: $\delta = a + b - c$)

λ - długość fali dla środkowej częstotliwości pasma (dla $f=500$ Hz długość $\lambda = 0,68\text{m}$)

Prosta analiza powyższego wzoru (...oczywista dla każdego fizyka) pozwala zauważyć, że dla δ dążącej do zera (czyli zrównania linii propagacji źródło-punkt obserwacji z wysokością ekranu), wartość skuteczności ekranowania ΔL dąży do **4,8 dB** - niezależnie od długości fali, a to oznacza, że:

- *primo*: jest to niefizyczne, bo dyfrakcja (ugięcie) fali zależy od jej długości!
- *secundo*: sam fakt „pojawienia” się ekranu w obliczeniach już „zmniejsza” hałas o prawie 5 dB, co również jest nieprawdą (i jest to weryfikowalne pomiarowo!)

NTL-M.Kirpluk: Wg moich własnych doświadczeń pomiarowych powyższy wzór sprawdza się jedynie w obszarze głębokiego cienia akustycznego, czyli blisko ekranu i poniżej jego wysokości.

Natomiast w zakresie dużych odległości - określającej zasięgi oddziaływań akustycznych - ten wzór się nie sprawdza, co również wielokrotnie zaobserwowałem wykonując pomiary porealizacyjne tras komunikacyjnych zabezpieczonych - podobno skutecznie na etapie prognoz projektowych - ekranami akustycznymi.

...a w metodach CNOSSOS zamiast „20” jest „40”... BEZ KOMENTARZA...

¹² w instrukcjach ITB od 1991r. (308 z 1991r., 338/96, 338/2003, 338/2008)

Wzór dla 500 Hz: $\Delta L_e = 10 \log(3 + 29,4 \times \delta)$

Obliczenia przykładowe:

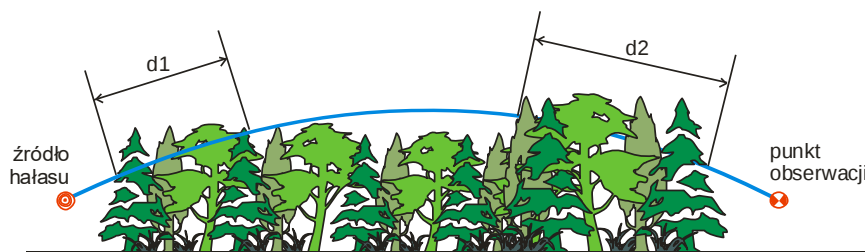
Źródło punktowe, ekran w odl. 4m od źródła:

wysokość ekranu*	odległość za ekranem					
	10m	20m	40m	80m	160m	320m
	14m	24m	44m	84m	164m	324m
-0,8m	nieokreślone!	-7,0	-3,6	-2,6	-2,1	-1,9
-0,6m	0,6	1,5	1,9	2,1	2,2	2,2
-0,4m	3,4	3,6	3,7	3,8	3,8	3,8
-0,2m	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6
0m	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
1m	9,1	8,7	8,4	8,3	8,3	8,2
2m	13,6	13,0	12,6	12,5	12,4	12,3
4m	18,7	18,0	17,6	17,4	17,3	17,2
6m	21,7	20,9	20,4	20,2	20,0	20,0
8m	23,6	22,9	22,3	22,0	21,9	21,8

*przewyższenie nad linią źródło-observator

Wartości tak obliczonej „skuteczności” ekranowania nie potwierdzają się w praktyce!

6.6. Wpływ zieleni



$$d = d1 + d2$$

...pomijamy w obliczeniach emisji...

6.7. Inne składniki modeli obliczeniowych

Patrz źródła:

- Instrukcja ITB-338/2008 pt.: „Metoda określania emisji i imisji hałasu w środowisku” (Warszawa, 2008)
 - PN ISO 9613-2 (wrzesień 2002) pt.: „Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej”
 - CNOSSOS-EU Common Noise Assessment Methods in Europe 2012
- (zarówno metodyka ITB jak i Polskie Normy, są objęte prawami autorskimi)

7. Załączniki

7.1. Działania na potęgach i logarytmach

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.2. Uprozczone tablice wykładowe 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:

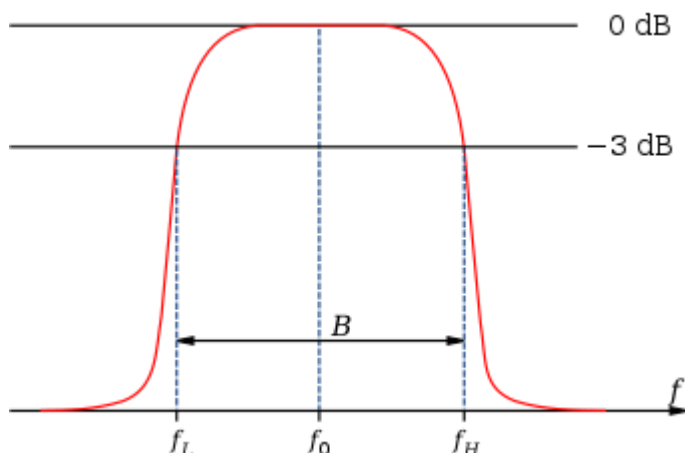
$$\lg(124000) = \lg(1,24 \cdot 10^5) = \lg(1,24) + \lg(10^5) = 0,09 + 5 = 5,09$$

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

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

7.4. Filtry pasmowe - oktauwowe i tercjowe

(źródło: <https://pl.wikipedia.org/wiki/...>)



$$f_0 = \sqrt{f_L f_H},$$

$$B = f_H - f_L.$$

$$\frac{B}{f_0} = \text{const.}$$

filtry oktauwowe: $f_{0,n} = f_{0,n-1} \cdot 2$ $\frac{B}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$

filtry tercjowe: $f_{0,n} = f_{0,n-1} \cdot \sqrt[3]{2}$ $\frac{B}{f_0} = \frac{\sqrt[3]{2} - 1}{\sqrt[6]{2}} \approx 0,232$

7.4.1. Filtry oktauwowe

Zakres dźwięków słyszalnych został podzielony na jedenaście **oktauw** o częstotliwościach środkowych odpowiednio:

Nr oktauw	f_d	f_o	f_g
1	11,3 Hz	16 Hz	22,6 Hz
2	22,3 Hz	31,5 Hz	44,5 Hz
3	44,5 Hz	63 Hz	89,1 Hz
4	88,4 Hz	125 Hz	177 Hz
5	177 Hz	250 Hz	354 Hz
6	354 Hz	500 Hz	707 Hz
7	707 Hz	1000 Hz	1414 Hz
8	1414 Hz	2000 Hz	2828 Hz
9	2828 Hz	4000 Hz	5657 Hz
10	5657 Hz	8000 Hz	11314 Hz
11	11314 Hz	16000 Hz	22627 Hz

- f_d – częstotliwość dolna,
- f_o – częstotliwość środkowa,
- f_g – częstotliwość górna,

które pozostają w następujących zależnościach:

$$\frac{f_g}{f_d} = \frac{2}{1},$$

$$f_d = f_o \cdot \sqrt[2]{2},$$

$$f_g = f_o \cdot \sqrt[2]{2},$$

$$f_o = f_d \cdot \sqrt[2]{2} = f_g \cdot \sqrt[2]{2}.$$

$$f_{0,n} = f_{0,n-1} \cdot 2$$

Względna szerokość pasma oktauwowego wynosi 70,7% **częstotliwości środkowej** każdej oktauw.

7.4.2. Filtry tercjowe

Nr tercji	f_d	f_o	f_g
1	11,1 Hz	12,5 Hz	14,0 Hz
2	14,3 Hz	16 Hz	18,0 Hz
3	17,8 Hz	20 Hz	22,4 Hz
4	22,3 Hz	25 Hz	28,1 Hz
5	28,1 Hz	31,5 Hz	35,4 Hz
6	35,6 Hz	40 Hz	44,9 Hz
7	44,5 Hz	50 Hz	56,1 Hz
8	56,1 Hz	63 Hz	70,7 Hz
9	71,3 Hz	80 Hz	89,8 Hz
10	89,1 Hz	100 Hz	112,2 Hz
11	111,4 Hz	125 Hz	140,3 Hz
12	142,5 Hz	160 Hz	179,6 Hz
13	178,2 Hz	200 Hz	224,5 Hz
14	222,7 Hz	250 Hz	280,6 Hz
15	280,6 Hz	315 Hz	353,6 Hz
16	356,4 Hz	400 Hz	449,0 Hz
17	445,4 Hz	500 Hz	561,2 Hz
18	561,3 Hz	630 Hz	707,2 Hz
19	712,7 Hz	800 Hz	898,0 Hz
20	890,9 Hz	1 000 Hz	1 122,5 Hz
21	1 113,6 Hz	1 250 Hz	1 403,1 Hz
22	1 425,4 Hz	1 600 Hz	1 795,9 Hz
23	1 781,8 Hz	2 000 Hz	2 244,9 Hz
24	2 227,2 Hz	2 500 Hz	2 806,2 Hz
25	2 806,3 Hz	3 150 Hz	3 535,8 Hz
26	3 563,6 Hz	4 000 Hz	4 489,8 Hz
27	4 454,5 Hz	5 000 Hz	5 612,3 Hz
28	5 612,7 Hz	6 300 Hz	7 071,5 Hz
29	7 127,2 Hz	8 000 Hz	8 979,7 Hz
30	8 909,0 Hz	10 000 Hz	11 224,6 Hz
31	11 136,2 Hz	12 500 Hz	14 030,8 Hz
32	14 254,4 Hz	16 000 Hz	17 959,4 Hz
33	17 818,0 Hz	20 000 Hz	22 449,2 Hz

- f_d – częstotliwość dolna,
- f_o – **Częstotliwość środkowa**,
- f_g – częstotliwość górna,

które pozostają w następujących zależnościach:

$$\frac{f_g}{f_d} = \sqrt[3]{2},$$

$$f_d = f_o \cdot \sqrt[6]{2},$$

$$f_g = f_o \cdot \sqrt[6]{2} = f_d \cdot \sqrt[3]{2},$$

$$f_o = f_d \cdot \sqrt[6]{2} = f_g \cdot \sqrt[6]{2}.$$

$$f_{0,n} = f_{0,n-1} \cdot \sqrt[3]{2}$$

Względna szerokość pasma tercjowego wynosi 23,2% **częstotliwości środkowej** każdej oktawy.

7.5. Krzywe NR

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

7.6. Współczynniki rozkładu T-Studenta:

liczba próbek n	stopnie swobody $\nu = n-1$	τ (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
∞	∞	1,960

W programie MS Excel wywoływać funkcjami:

=ROZKŁAD.T.ODW(1-0,95;n-1)

lub

=ROZKŁ.T.ODWR(0,975;n-1)

7.7. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

7.7.1. Chronologia zmian

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

1980

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 września 1980r. (Dz.U. Nr 24, poz.90) - *obowiązywało do 14 czerwca 1998r. na podst. Art.50 ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (tekst jedn. Dz.U.z 1994 r. Nr 49, poz. 196, z późn.zm.)*

Uwaga MK: *na czerwono* oznaczono tereny które w myśl obecnie obowiązujących przepisów (od 08.2004r.) już nie są chronione akustycznie

Dopuszczalne natężenie hałasu w środowisku

Lp	Rodzaj terenu	Równoważny poziom dźwięku		Maksymalny krótkotrwały poziom dźwięku
		od godz. 6 ⁰⁰ do 22 ⁰⁰	od godz. 22 ⁰⁰ do 6 ⁰⁰	
1	a. Obszary ochrony uzdrowiskowej b. <i>Obszary chronionego krajobrazu</i> c. <i>Parki krajobrazowe</i> d. <i>Obszary o walorach wypoczynkowych i krajobrazowych objęte ochroną w trybie art.41 ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska</i> e. <i>Obszary dzielnic i obiektów zabytkowych</i>	40	30	65
2	a. Tereny otaczające sanatoria i szpitale b. Podmiejskie osiedla mieszkaniowe c. Podmiejskie tereny wypoczynkowe	45	35	70
3	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej z niewielką liczbą sklepów i placówek usługowych, <i>położone w pobliżu ulic o natężeniu ruchu do 1000 pojazdów na godzinę</i> b. Tereny zamieszkania zbiorowego i opieki społecznej c. <i>Tereny placówek naukowych, naukowo-badawczych i innych o podobnym charakterze</i> • Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży	50	40	75
4	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej z niewielką liczbą sklepów i placówek usługowych, <i>położone w pobliżu ulic o natężeniu ruchu do 2000 pojazdów na godzinę</i> b. <i>Parki w miastach, ogrody działkowe</i> c. Tereny rekreacyjno-sportowe	55	45	80
5	Centralne części miast z zabudową mieszaną (mieszkaniową, handlową, usługową, biurową, itp.) <i>lub ulicami o natężeniu ruchu ponad 2000 pojazdów na godzinę</i>	60	50	85

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 maja 1998r. (Dz.U. Nr 66, poz.436) - **obowiązywało do 30 czerwca 2004 r. na podst. Art. 4 ust. 2a ustawy z dnia 27 lipca 2001 r. o wprowadzeniu ustawy - Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. Nr 100/2001, poz. 1085, zm.Dz.U. Nr 7/2003, poz. 78)**

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu - z wyłączeniem hałasu powodowanego przez linie elektroenergetyczne oraz starty, lądowania i przeloty statków powietrznych.

Lp	Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A w dB			
		drogi lub linie kolejowe *)		Pozostałe obiekty i grupy źródeł hałasu	
		Pora dnia przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	Pora nocy przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	Pora dnia przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia	Pora nocy przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	a. Obszary A ochrony uzdrowiskowej	50	40	40	35
	b. Tereny szpitali poza miastem				
2	a. Tereny wypoczynkowo-rekreacyjne poza miastem	55	45	45	40
	b. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej				
	c. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży				
	d. Tereny domów opieki				
	e. Tereny szpitali w miastach				
3	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego	60	50	50	40
	b. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi				
	c. Tereny zabudowy zagrodowej				
4	a. Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55	55	45

*) wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym

Czas „dziury prawnej”: do 1 lipca 2004r. do 12 sierpnia 2004r.!!!

Dopuszczalne poziomy hałas w środowisku

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 178, poz.1841) - **obowiązywało od 13 sierpnia 2004 r. do 19 lipca 2007 r.**

2004

Dopuszczalne poziomy hałas w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu - z wyłączeniem hałasu powodowanego przez linie elektroenergetyczne oraz starty, lądowania i przeloty statków powietrznych.

Uwaga MK: na czerwono wyróżniono pozycje, które uległy zmianie w stosunku do przepisów obowiązujących do 30 czerwca 2004 r.!

Lp	Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A w dB			
		drogi lub linie kolejowe *)		Pozostałe obiekty i grupy źródeł hałasu	
		Pora dnia przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	Pora nocy przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	Pora dnia przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia	Pora nocy przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	a. Obszary A ochrony uzdrowiskowej b. Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży c. Tereny domów opieki d. Tereny szpitali w miastach	55	50	50	40
3	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi c. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe poza miastem d. Tereny zabudowy zagrodowej	60	50	55	45
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55	55	45

*) wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826)

- obowiązujące w okresie od 20 lipca 2007 r. do 22 października 2012 r. - dot. Tabeli 1 i Tabeli 3 (niecytowanej na tej stronie) Uwaga MK: na czerwono wyróżniono pozycje, które uległy zmianie w stosunku do przepisów obowiązujących do 19 lipca 2007 r.!

- UWAGA: tekst rozporządzenia oraz Tabele 2 i 4 (niecytowane na tej stronie) - nie zostały zmienione od 20 lipca 2007 r. i obowiązują nadal

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 $L_{Aeq D}$ i $L_{Aeq N}$, 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 ¹⁾		Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		(pora dnia) $L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	(pora nocy) $L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	(pora dnia) $L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia kolejno po sobie następującym	(pora nocy) $L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	a. Strefa ochronna A uzdrowiska b. Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ²⁾ c. Tereny domów opieki społecznej d. Tereny szpitali w miastach	55	50	50	40
3	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b. Tereny zabudowy zagrodowej c. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe ²⁾ d. Tereny mieszkaniowo-usługowe	60	50	55	45
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ³⁾	65	55	55	45

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

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

³⁾ 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.

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie *dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku* (Dz. U. z dn. 08.10.2012 r., poz.1109) - **obowiązuje od 23 października 2012 r.**
- **tekst jednolity Dz.U. z 2014r. poz.112.**

2012**1998**

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 $L_{Aeq D}$ i $L_{Aeq N}$, które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby

Tabela 1 / Tabela 3 (L_{DWN} i L_N)

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

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

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

³⁾ 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.

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826)

- **UWAGA: tekst rozporządzenia oraz Tabela 2 i Tabela 4 - nie zostały zmienione od 20 lipca 2007 r. i obowiązują nadal !**

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne wyrażone wskaźnikami $L_{Aeq D}$ i $L_{Aeq N}$, 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	
		(pora dnia) $L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	(pora nocy) $L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	(pora dnia) $L_{Aeq D}$ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	(pora nocy) $L_{Aeq N}$ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom
1	a. Strefa ochronna A uzdrowiska				
	b. Tereny szpitali, domów opieki społecznej	55	45	45	40
	c. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ¹⁾				
2	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej				
	b. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe ¹⁾				
	c. Tereny mieszkaniowo-usługowe	60	50	50	45
	d. Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ²⁾				

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

²⁾ 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.

7.7.2. Obowiązujące

Tabela 1 / Tabela 3

Dopuszczalny poziom 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 ¹⁾ +hałas z terenów zamkniętych		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	50	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ²⁾ c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	61 64 (było 55)	56 59 (było 50)	50	40
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe ²⁾ d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	65 68 (było 60)	56 59 (było 50)	55	45
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ³⁾	68 70 (było 65)	60 65 (było 55)	55	45

Objaśnienia:

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

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

³⁾ 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” (?????)

UWAGA 3: np. strzelnice na terenach zamkniętych (spec-ustawa Dz.U. 2025 poz.1080)

Tabela 2 / Tabela 4*

Dopuszczalne poziomy hałas 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 ¹⁾	55	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe ¹⁾ c) Tereny mieszkaniowo-usługowe d) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ²⁾	60	50	50	45

Objaśnienia:

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

²⁾ 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!**

7.8. 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." (projekty do 2024-08-01)

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, dzieci, 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	gabinety 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	

Uwaga 1:

- powyższe wartości są normowane dla pomieszczeń przy drzwiach i oknach zamkniętych, ale przy zapewnieniu prawidłowej wentylacji pomieszczenia (§147 rozp. du.2002.75.690 z późn.zm.)!
- wartości w tabeli obowiązują dla pomieszczeń umeblowanych i wyposażonych zgodnie z ich przeznaczeniem.
- wartości dla wyposażenia technicznego - oddzielnie dla każdej instalacji,
- wartości dla wyposażenia technicznego - dla instalacji nie regulowanej i nie włączanej z danego pomieszczenia,
- również: instalacji i urządzeń - „nie związanych funkcjonalnie z danym budynkiem lub zlokalizowanych na zewnątrz budynku w terenie lub w innych obiektach”.
- wartości z kolumn 5 i 6 mają zastosowanie do hałasu ustalonego - m.in. hałas od instalacji wodnej, grzewczej, wentylacyjnej, hydrowężła, transformatori.
- wartości z kolumn 7 i 8 mają zastosowanie do hałasu nieustalonego (o zmienności powyżej 5 dB) - m.in. hałas windy, drzwi garażowych, wentylacji garażowej (załączanej automatycznie).

Uwaga 2:

- zgodnie z normą PN-B-02151-02:1987 + Ap.1:2015-05 - "Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach" należy przyjąć poprawki w przypadku wykonywania pomiarów w pomieszczeniach niezagospodarowanych:

Chłonność akustyczna pomieszczeń zagospodarowanych: (Załącznik 2 do w .cyt. normy)

lp	rodzaj pomieszczenia	objętość pomieszczenia	poprawka K_2
1	Pomieszczenia do stałego przebywania ludzi	$< 25 \text{ m}^3$	-5 dB
		$25,00 \div 39,99 \text{ m}^3$	-4 dB
		$40,00 \div 59,99 \text{ m}^3$	-3 dB
		$\geq 60 \text{ m}^3$	-2 dB
2	Kuchnia, przedpokój, łazienka, WC	bez względu na objętość pomieszczenia	-2 dB

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

		maksymalny poziom dźwięku A w odl. 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	przestrzeń 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” (projekty od 2024-08-01)

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 ^{a, b}	30 ^b
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	Salę 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 ^c	
10c		Pokoje do prowadzenia rozmów poufnych (w tym gabinety dyrektorskie)	30	
10d		Salę 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		Salę ćwiczeń w obiektach sportowych	50	
10m		Baseny	50	

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

^b 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.

^c 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.

7.9. 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'_{A1}	$L'_{n,w}$	R'_{A1}	R'_{A1}
Wszystkie pomieszczenia mieszkania	wszystkie pomieszczenia przyległego mieszkania	51¹⁾	58²⁾	50	³⁾
	korytarz, klatka schodowa	³⁾	53⁴⁾	50	25⁵⁾
	pomieszczenia techniczne wyposażenia instalacyjnego budynku	55⁶⁾	58^{7),8)}	55⁶⁾	³⁾
	sklepy, punkty usługowe o $L_{pA} < 70$ dB	55⁶⁾	53⁷⁾ 58⁸⁾	55⁶⁾	³⁾
	punkty usługowe o L_{pA} 70-75 dB	55-60^{6), 9)}	48-53^{7),9)} 58⁸⁾	55-60^{6), 9)}	³⁾
	kawiarnie, restauracje, klub (z wyłączeniem dyskotek)	55-60⁹⁾	48-53^{7),9)} 58⁸⁾	57-67⁹⁾	³⁾
pokój	pomieszczenia sanitarne w tym samym mieszkaniu	³⁾	³⁾	35	brak¹⁰⁾
	wszystkie pozostałe pomieszczenia poza sanitarnymi	45-51¹¹⁾	58¹²⁾	30-35¹³⁾	brak¹⁰⁾

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_{tr} - wymaganie dla wskaźnika R'_{A2}

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
I	Budynki wielorodzinne		
I.1	Strop między mieszkaniami	$R'_{A,1}{}^a$	$\geq 51^b$
I.2	Ściana między mieszkaniami	$R'_{A,1}$	≥ 50
I.3	Ściany i drzwi między klatką schodową i /lub korytarzem komunikacji ogólnej a dowolnym		
I.3.1	— ściana pełna, bez drzwi	$R'_{A,1}$	≥ 50
I.3.2	— ściana z drzwiami, gdy w mieszkaniu znajduje się przedpokój oddzielony drzwiami od pozostałej części mieszkania	$R'_{A,1}$	≥ 30
I.3.3	— ściana z drzwiami w sytuacjach innych niż w I.3.2 (przyp.MK: np. wejście bezpośrednie do kuchni z salonem)	$R'_{A,1}$	≥ 38
I.3.4	— drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.2	$R_{A,1,R}$	≥ 30
I.3.5	— drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.3	$R_{A,1,R}$	≥ 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	$R'_{A,1}{}^a$	$\geq 58^c$
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 ^{d,e}	$R'_{A,1}$	$\geq 65^c$
I.6	W budynku wielofunkcyjnym - strop oddzielający część mieszkalną od części biurowej	$R'_{A,1}$	$\geq 58^c$
^a Dotyczy wskaźnika wspólnej powierzchni przegrody dzielącej pomieszczenia; jeżeli wspólna powierzchnia przegrody, S, jest mniejsza niż 10 m ² , wymaganie dotyczy wskaźnika oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$			
^b Stropy między pomieszczeniami sanitarnymi mogą mieć wartość $R'_{A,1}$ mniejszą o 2 dB.			
^c Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-02 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu.			
^d Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.			
^e Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.			

Zgodnie z normą **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. - wymagane wartości wskaźników [w dB] dla izolacyjności akustycznej **od dźwięków uderzeniowych** przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych (Tabela 4):

Lp.	Wymaganie	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika, dB
1	2	3	4
I	Budynki wielorodzinne		
I.1	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między mieszkaniami^{abc}	$L'_{n,w}$	≤ 55
I.2	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania z pomieszczeń komunikacji ogólnej: korytarzy, holi, podestów ^c	$L'_{n,w}$	≤ 55
I.3	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania z garażu, z pomieszczenia technicznego budynku, pomieszczenia handlowego, usługowego ^d , z sali klubowej kawiarnianej, restauracyjnej, w których nie prowadzi się działalności z udziałem muzyki i /lub tańca	$L'_{n,w}$	$\leq 48^e$
I.4	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania - z sali klubowej, kawiarnianej, restauracyjnej, w których prowadzi się działalność z udziałem muzyki i /lub tańca, - z pomieszczenia, w którym zainstalowane urządzenia lub rodzaj wykonywanej pracy czy prowadzonych zajęć ruchowych są źródłem zakłóceń akustycznych w postaci dźwięków powietrznych i materiałowych ^{c, f, g}	$L'_{n,w}$	$\leq 38^e$
I.5	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu w obrębie mieszkania	$L'_{n,w,R}$	≤ 58
II	Budynki jednorodzinne		
II.1	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między budynkami przy zabudowie bliźniaczej lub szeregowej (do pomieszczeń mieszkalnych jednego budynku z przyległego budynku: ze stropów, wewnętrznych klatek schodowych, z podestów, biegów schodowych,	$L'_{n,w}$	≤ 53
II.2	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu (wraz z podłogą) w obrębie budynku jednorodzinnego wielopiętrowego	$L'_{n,w,R}$	≤ 58
^a Dopuszczalny ważony wskaźnik przybliżonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego, L'_{nw} odnosi się do wszystkich pomieszczeń mieszkania z wyjątkiem pomieszczeń sanitarnych. W pomieszczeniach sanitarnych wskaźnik ten może być o 2 dB większy. ^b W przypadku stropów w pomieszczeniach sanitarnych wymaganie dotyczy przenoszenia dźwięku uderzeniowego do pokoju „obcego mieszkania”. ^c Wymaganie dotyczy wszystkich kierunków rozprzestrzeniania dźwięku w budynkach. W przypadku mieszkań wielopiętrowych dotyczy także przenoszenia dźwięków z wewnętrznych stropów i wewnętrznych klatek schodowych. ^d Jeżeli w pomieszczeniu usługowym prowadzone są takie czynności jak: przetaczanie wózków, rzucanie ciężkimi przedmiotami, uderzenia w twarde podłoże, to należy przyjąć wymagania wg I.4. ^e Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-02 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu. ^f Na przykład kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp. ^g Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.			

7.10. 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		
			pracownik ^{a)}	kobieta ^{b)}	młodociany ^{c)}
A	ochronę słuchu:				
1	odniesione do 8-godzinnego dnia pracy lub 5-dniowego tygodnia pracy:				
	poziom ekspozycji na hałas	$L_{EX,8h}$	85 dB	65 dB	80 dB
	ekspozycja na hałas	$E_{A,Te}$	$3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \text{ s}$	-	-
2	maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	115 dB	110 dB	110 dB
3	szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	135 dB	130 dB	130 dB
B	możliwość realizacji przez pracownika podstawowych funkcji:				
1	równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy				
	– w kabinach bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej	$L_{Aeq,Te}$	75 dB	patrz A1	jak pracownik
	– w kabinach bezpośredniego sterowania z łącznością telefoniczną	$L_{Aeq,Te}$	65 dB	jak pracownik	jak pracownik
	– w pomieszczeniach administracyjnych	$L_{Aeq,Te}$	55 dB	jak pracownik	jak pracownik
2	maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	115 dB	patrz A2	patrz A2
3	szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	135 dB	patrz A3	patrz A3

a)

Załącznik nr 2 do rozporządzenia 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)

b)

Załącznik dział III, pkt 1) rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia **kobiet w ciąży i kobiet karmiących** dziecko piersią (Dz.U. 2017, poz.796)

c)

Załącznik 1 dział II pkt 2 ppkt 6) rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2023 r. w sprawie wykazu prac **wzbronionych młodocianym** i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz.U. 2023, poz.1240)

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 progu działania wynosi **80 dB**,
- dla szczytowego poziomu dźwięku C - jako wartość progu działania przyjmuje się wartość NDN wynoszącą **135 dB**.

7.11. Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane)

Warto zajrzeć na strony:

- NTL-M.Kirpluk

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
- "**Ocena niepewności pomiarów i badań akustycznych**" © M.Kirpluk
- wskaźniki do obliczania **poziomów mocy akustycznych źródeł zastępczych** symulujących ruch pojazdów (wg badań własnych) - [samochody osobowe i ciężarowe](#)
- **Kalkulator akustyczny v.3.3** - na smartfony z Androidem
- Program demonstracyjny **emisji hałasu do środowiska MK HALAS demo v.7** (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 REF (zafiksowany) - program podaje obliczoną wartość poziomu dźwięku,
 - 1 punkt obliczeniowy P1 (można zmieniać lokalizację) - program podaje obliczoną wartość poziomu dźwięku oraz udziały od poszczególnych źródeł (ozn. kolorami),
 - program pokazuje strefy hałasu (ozn. kolorami co 10dB, co 5 dB i co 1 dB) i NATYCHMIAST (!) je aktualizuje po wprowadzeniu zmian (...czego nie robi żaden program tzw."profesjonalny"...;-))
- Program **MK-HPZ_Friend** do pełnoekranowego **podglądu i edycji danych** programu HPZ (ITB) z możliwością **importu danych z arkuszy MS Excel**.

- Polskie Towarzystwo Akustyczne

www.acoustics.org.pl

- Profon Acoustics

www.profon.pl → zakładka „Akustyka”

Sprzęt pomiarowy:

- Brüel & Kjær

www.bruel.com.pl

- SVANTEK Sp. z o.o.

www.svantek.com

- NORSONIC

www.norsonic.com

- SONOPAN

www.sonopan.com.pl