

Podstawy akustyki

mgr Mikołaj Kirpluk

Warszawa, listopad 2012

(ed.popr.2014-08 - poprawiono definicję poziomu - patrz str.13)

(I edycja: wrzesień 2004)

nazwa firmy:	NTL-M.Kirpluk
adres korespondencyjny:	ul.Belwederska 3 m.6 00-761 Warszawa
tel.kom.:	+48 502 216620
e-mail:	mkirpluk@ntlmk.com
strona internetowa:	www.ntlmk.com

Spis treści:

SPIS TREŚCI:	2
1. FALA DŹWIĘKOWA	3
1.1. Cechy fizyczne	3
1.2. Zjawiska fizyczne	5
1.2.1. Superpozycja fal	5
1.2.2. Odbicie, ugięcie i przenikanie	6
1.2.3. Refrakcja, interferencja i fala stojąca	7
1.3. Klasyfikacja pól i sygnałów akustycznych	8
2. ZMYŚŁ SŁUCHU	9
2.1. Budowa ucha	9
2.2. Słyszenie i postrzeganie dźwięku	9
3. PARAMETRY AKUSTYCZNE - DEFINICJE	10
3.1. Wartość skuteczna (RMS) i szczytowa (PEAK)	10
3.2. Poziom dźwięku i decybel	11
3.3. Ekspozycja względna	14
3.4. Korekcja częstotliwościowa (LIN lub Z, A, C)	15
3.5. Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej	16
3.5.1. Poziom ciśnienia akustycznego	16
3.5.2. Poziom dźwięku A	16
3.5.3. Poziom mocy akustycznej	17
3.5.4. Poziom A energii akustycznej	18
3.6. Poziom równoważny, ekspozycyjny, długotrwały średni	20
3.6.1. Poziom równoważny (L_{eq} lub LEQ) - definicja	20
3.6.2. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do czasu 8-godzinnej pracy (dzienny poziom ekspozycji na hałas)	22
3.6.3. Poziom ekspozycyjny (L_{AE} lub SEL) - definicja	23
3.6.4. Obliczanie poziomu równoważnego	24
3.6.5. Obliczanie poziomu długotrwałego średniego	25
3.6.6. Poziom dzienne-wieczorno-nocny L_{DWN} ($LDEN$)	25
3.7. Sumowanie logarytmiczne poziomów akustycznych	26
4. POMIAR POZIOMU DŹWIĘKU	27
4.1. Schemat ideowy miernika	27
4.2. Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS	28
4.3. Mierzone parametry	29
4.4. Pomiary hałasu - używane pojęcia	30
4.5. Protokół pomiarowy	31
5. OCHRONA PRZED HAŁASEM	32
5.1. Przepisy prawa	32
5.1.1. Ochrona środowiska	32
5.1.2. Pomieszczenia w budynkach	32
5.1.3. Stanowiska pracy	32
5.2. Pomiary hałasu w środowisku zewnętrznym - informacyjnie	33
5.2.1. Wybór punktów pomiarowych	33
5.2.2. Sposób prowadzenia pomiarów	33
5.2.3. Uwzględnienie tła akustycznego	33
5.3. Pomiary hałasu w pomieszczeniach - informacyjnie	34
5.4. Pomiary hałasu na stanowiskach pracy - informacyjnie	35
6. ZAŁĄCZNIKI	36
6.1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku	36
6.2. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach	38
6.3. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy	39
6.4. Uprozczone tablice wykładnicze i logarytmiczne	40
6.5. Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane)	41

1. Fala dźwiękowa

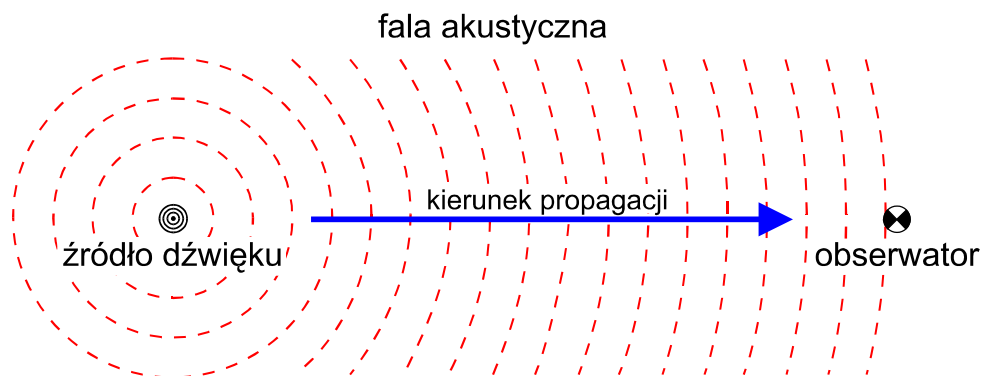
1.1. Cechy fizyczne

Fala dźwiękowa to forma transmisji energii przez ośrodek sprężysty.

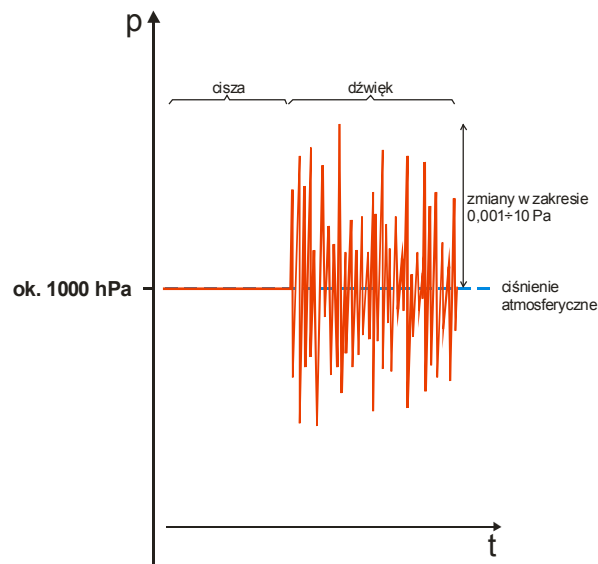
W powietrzu falę dźwiękową stanowi fala podłużna (tzn. zaburzenia stanu występują wzdłuż kierunku propagacji) zmian ciśnienia atmosferycznego.

Definicje:

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



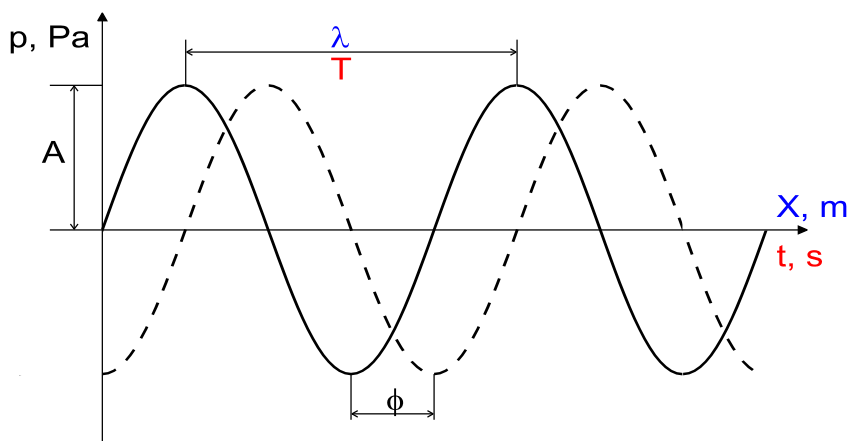
- **Cięśnienie akustyczne**
- *chwilowe zmiany ciśnienia względem średniego ciśnienia atmosferycznego:*



Ciekawostka (definicje będą dalej...):

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

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



- prędkość rozchodzenia się fali (prędkość dźwięku) **c** - prędkość rozchodzenia się zaburzenia ośrodka (sygnału):
 - w powietrzu (ok. 20°C) 340 m/s (ok. 1220 km/h = 1 Mach)
 - w wodzie (ok. 10°C) 1450 m/s
 - w betonie 3800 m/s
 - w stali ok. 6000 m/s
- faza drgania 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)
Hz	m
20	17
50	6,8
100	3,4
340	1,0
500	0,68
1000	0,34
8000	0,04
16000	0,02

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

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

1.2. Zjawiska fizyczne

1.2.1. Superpozycja fal

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

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

Przypadki szczególne - definicje:

- **Ton prosty** - *fala dźwiękowa o przebiegu sinusoidalnym ze stałą częstotliwością*, w analizie FFT reprezentowany przez pojedynczy „prążek”,
- **Częstotliwości harmoniczne** - *częstotliwości stanowiące wielokrotność częstotliwości podstawowej*:

- dla struny i pręta drgania: zwiększenie o czynnik będący kolejnymi liczbami naturalnymi,
 - dla sygnału o przebiegu prostokątnym: zwiększenie o czynnik będący kolejnymi liczbami nieparzystymi (rozkład FFT fali prostokątnej na składowe sinusoidalne),

- **Oktawa** - *pasmo częstotliwości pomiędzy częstotliwościami, których stosunek równa się 2*. Oktawy są charakteryzowane przez tzw. częstotliwości środkowe - 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz.

Granice pasm oktawy są określone jako $\pm \sqrt{2}$ względem częstotliwości środkowej,

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

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

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.

- **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.
- **Szum różowy** - *szum szerokopasmowy o takiej charakterystyce widmowej, że poziom dźwięku dla każdego pasma oktawowego (lub tercjowego) jest taki sam*.

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** lub **osłabieniu** pola związanego z falą.

W szczególnych przypadkach przy pomocy tego zjawiska można tłumić hałas -> tonalny.

- **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 !

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,

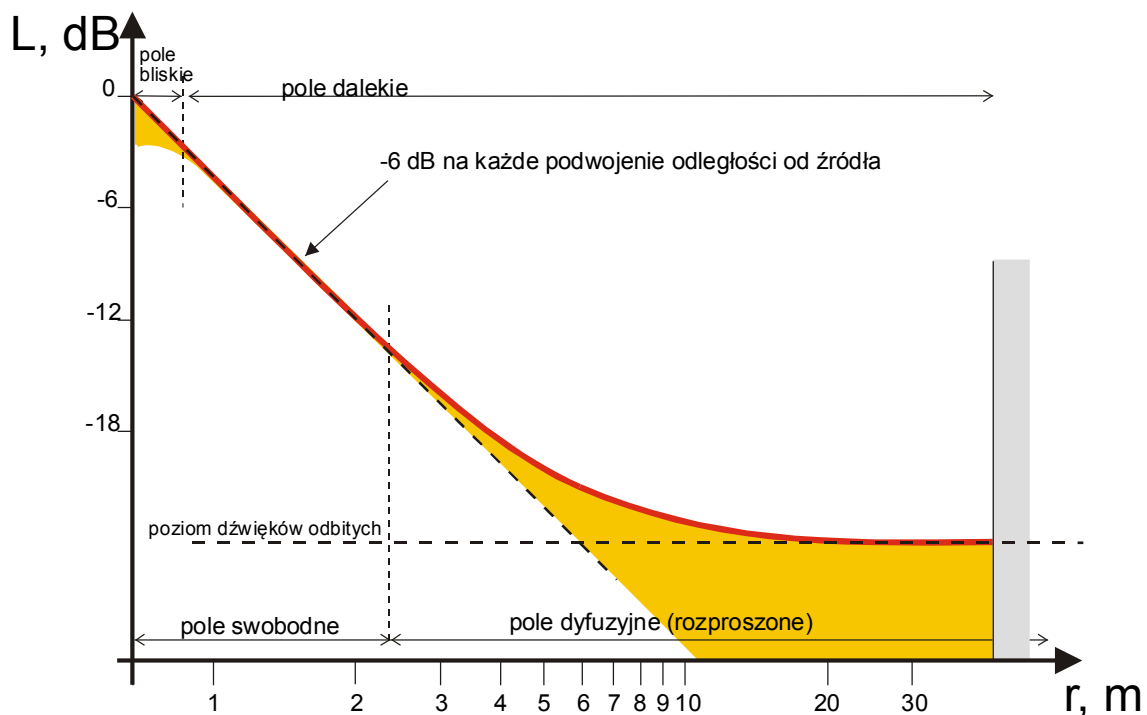
natomiast...

- **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!** :-)

1.3. Klasyfikacja pól i sygnałów akustycznych

Pole akustyczne:

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

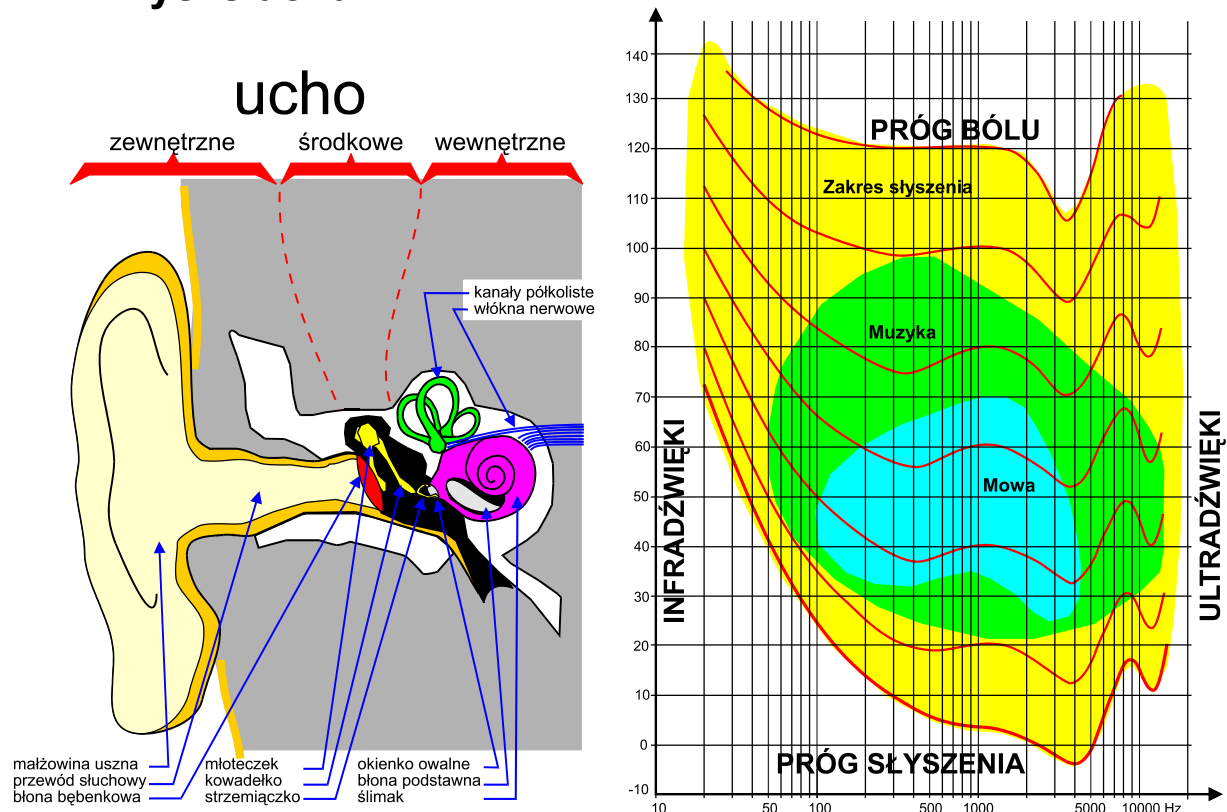


UWAGA:

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

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

2. Zmysł słuchu



2.1. Budowa ucha

- funkcje fizyczne:

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

2.2. Słyszenie i postrzeganie dźwięku

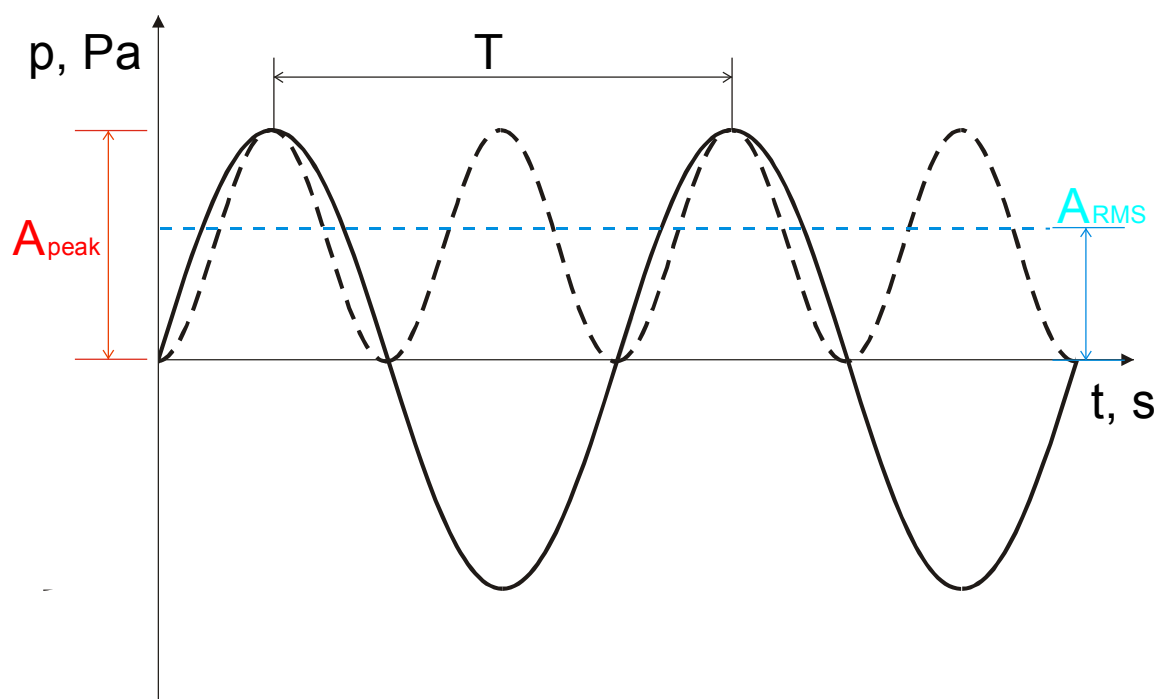
Budowa ucha zapewnia zmianę sygnału mechanicznego (fali akustycznej) na sygnał elektryczny (nerwowy) wraz z analizą amplitudową i częstotliwościową.

Postrzeganie dźwięku pozwala rozróżniać:

- **głośność dźwięku** - subiektywna ocena polegająca na porównaniu badanego dźwięku z tonem o częstotliwości 1000 Hz, wyrażana jako logarytm ze stosunku natężenia badanego dźwięku do natężenia odniesienia (10^{-12} 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.

3. Parametry akustyczne - definicje

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



Wartość skuteczna (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.

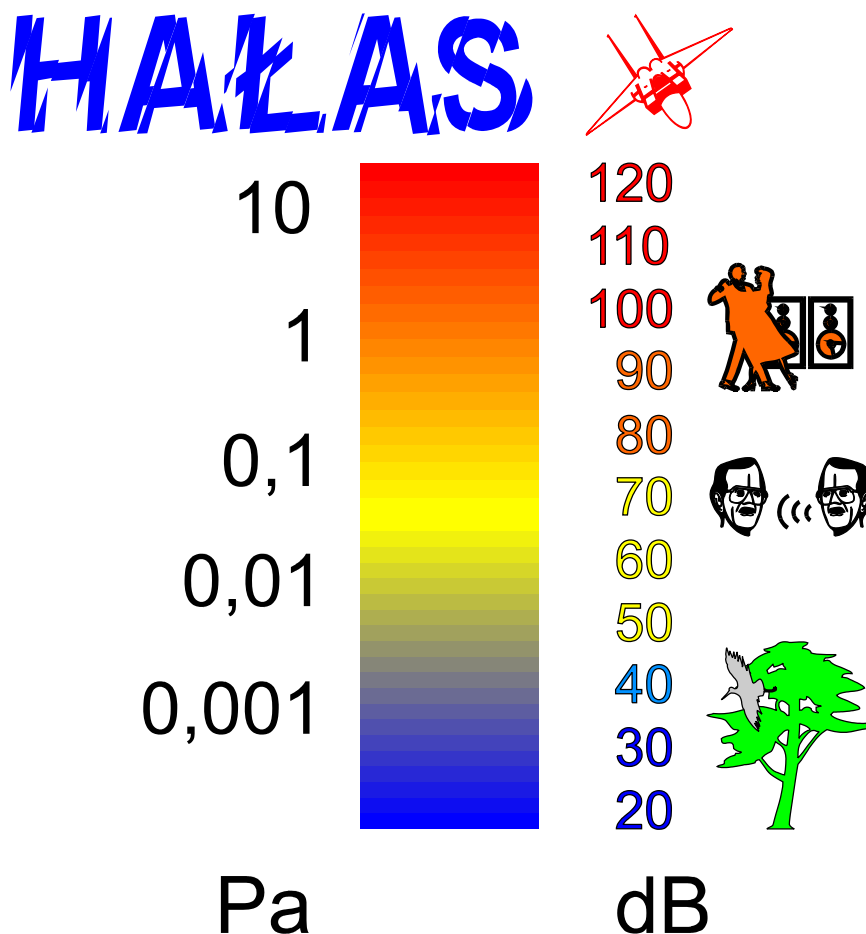
$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2 dt}$$

Wartość szczytowa (PEAK)

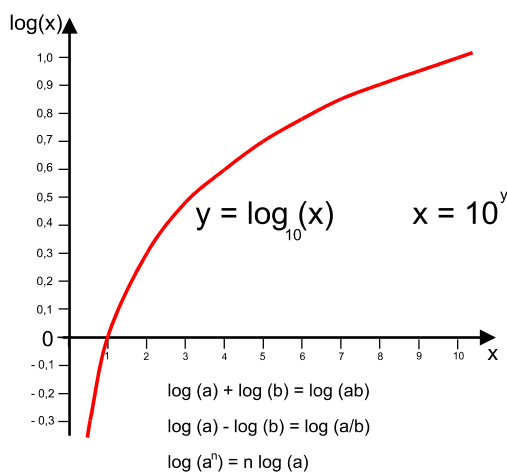
- maksymalna wartość amplitudy sygnału w czasie obserwacji (na rys. A_{peak})

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:

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

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

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

Podstawą definicji „decybela” 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 dB = 0,1 B lub inaczej: 10 dB = 1 B [...]”

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

- inaczej: nie zachodzi zależność: 1dB+1dB+1dB+1dB+1dB+1dB+1dB+1dB+1dB+1dB = 1B

Dla fali akustycznej:

- wielkością proporcjonalna do mocy jest kwadrat ciśnienia akustycznego.

Natomiast prawdziwe jest zdanie: Ze względów praktycznych zdefiniowano:

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

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

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

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

UWAGA:

Często w literaturze spotyka się zapis:

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

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

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

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.

UWAGA:

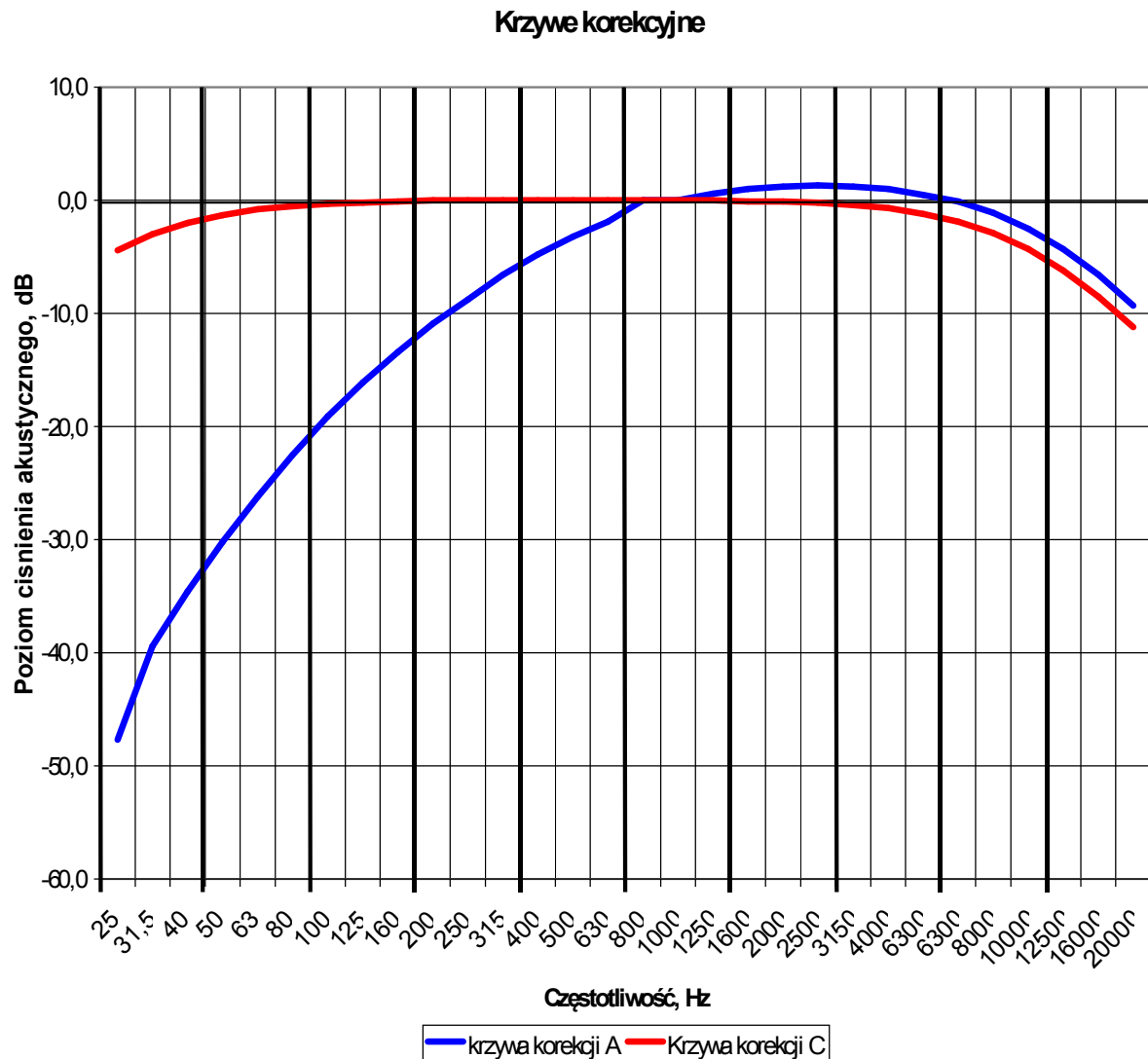
Poziom dźwięku nie jest wielkością fizyczną - jest umowną reprezentacją wielkości fizycznej przy wykorzystaniu funkcji logarytmicznej ze wszelkimi tego konsekwencjami:

- 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 $-\infty$).

3.4. Korekcja częstotliwościowa (LIN lub Z, A, C)

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

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



Interpretacja fizyczna krzywych korekcji:

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

3.5. Poziomy: ciśnienia akustycznego, dźwięku, mocy akustycznej

3.5.1. Poziom ciśnienia akustycznego

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

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

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

Uwaga:

Poziom ciśnienia akustycznego powinien być określany dla zakresu częstotliwości - może to być zakres LIN (20Hz-20kHz) albo oktawy lub tercje !!!

3.5.2. Poziom dźwięku A

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

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

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

Analogicznie - poziom dźwięku C - dla krzywej korekcyjnej C.

Uwaga:

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

3.5.3. Poziom mocy akustycznej

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

Definicja formalna

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

Poziom mocy akustycznej jest to wielkość określona wzorem:

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

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

Uwaga:

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

Zależność pomiędzy poziomem mocy akustycznej źródła a poziomem dźwięku w przestrzeni otaczającej źródło jest opisana wzorem¹:

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

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)

¹ wzór przybliżony - prawdziwy dla powietrza w warunkach normalnych!

3.5.4. Poziom A energii akustycznej

ang.: A-weighted Sound Energy Level

Definicja formalna

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

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

gdzie:

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

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

Definicja pojęciowa

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

Uwaga:

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

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

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

gdzie:

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

Przypadki szczególne:**1. Źródło punktowe**

- powierzchnia (fala) sferyczna

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

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

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

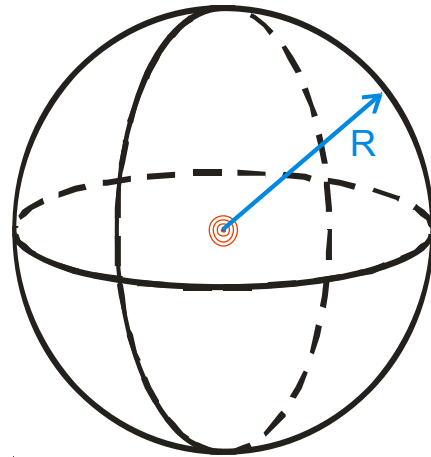
- 6 dB spadku na każde podwojenie odległości !

... a nad powierzchnią odbijającą:

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

Ogólnie:

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

**2. Źródło liniowe o długości $H \gg R$**

- powierzchnia (fala) cylindryczna

$$S = 2 \pi R H$$

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

$$L_p = L_{W1m} - 10 \cdot \log_{10}(R) - 8,0$$

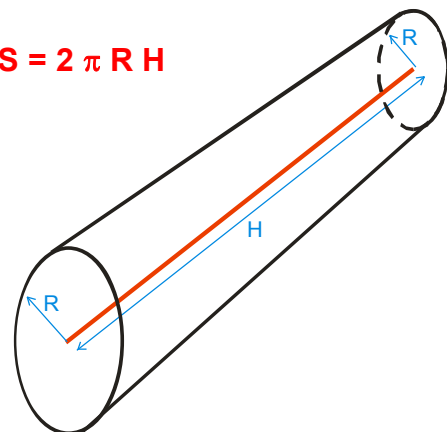
- 3 dB spadku na każde podwojenie odległości !

...a nad powierzchnią odbijającą:

$$L_p = L_{W1m} - 10 \cdot \log_{10}(R) - 5$$

Ogólnie:

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

**3. Źródło powierzchniowe $R < \sqrt{ah}$**

- płaszczyzna prostokątna (fala płaska)

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

- brak spadku poziomu - z reguły pole bliskie !

$$S = a \times h$$

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

3.6. Poziom równoważny, ekspozycyjny, długotrwały średni

zawsze podawany dla określonego czasu obserwacji T

3.6.1. Poziom równoważny (L_{eq} lub LEQ) - definicja

Równoważny poziom dźwięku A analizowanego dźwięku, jest to 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:

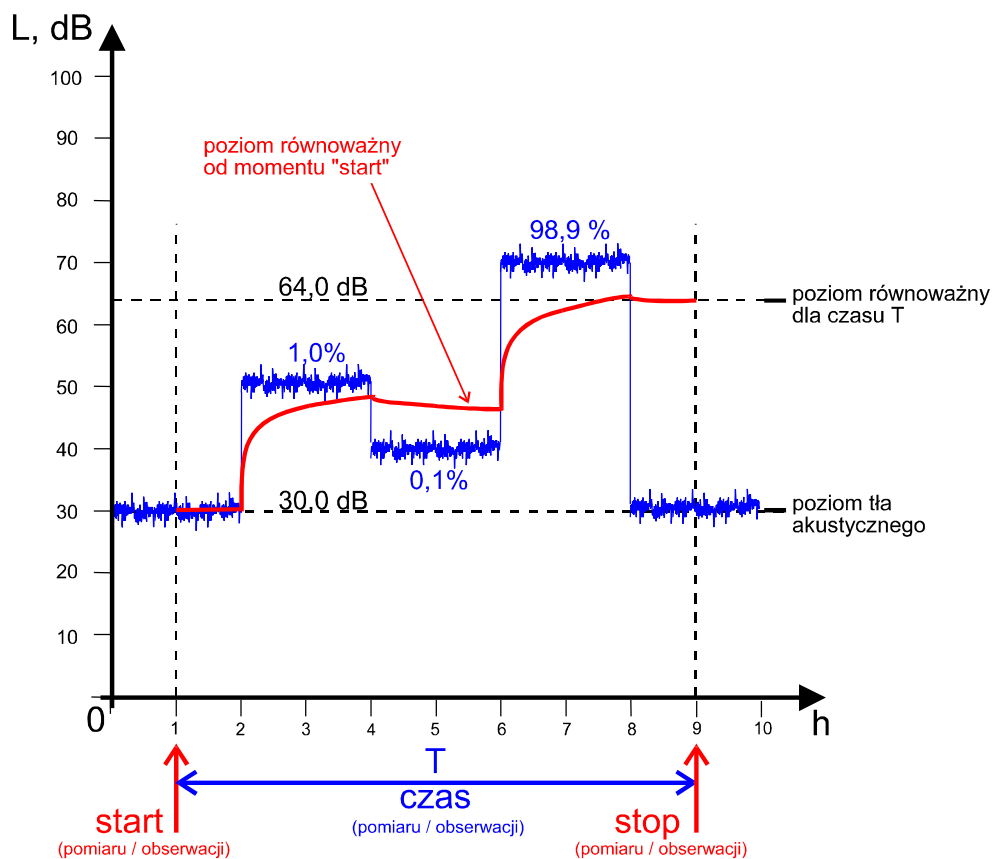
- T - czas obserwacji $T = t_2 - t_1$
- p_A - mierzone ciśnienie akustyczne (skorygowane względem charakterystyki częstotliwościowej A)
- p_0 - wartość ciśnienia odniesienia $p_0 = 20 \mu Pa = 2 \cdot 10^{-5} Pa$

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



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!

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

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

Definicja formalna

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

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

gdzie:

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

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

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

Definicja pojęciowa

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

Uwaga:

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

Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do nominalnego tygodnia czasu pracy:

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

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

3.6.3. Poziom ekspozycyjny (L_{AE} lub SEL) - definicja

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

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

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

gdzie: t_0 - czas odniesienia równy 1s
 p_A, p_0 - jak wyżej

Definicja pojęciowa

Dawka hałasu jako wartość uśredniona energetycznie odniesiona do 1 sekundy.

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

UWAGA:

- zasada pomiaru poziomu SEL polega na tym, żeby wybrać taki moment początku i końca pomiaru, żeby poziom maksymalny podczas pomiaru zdarzenia był co najmniej o 10 dB wyższy od poziomów chwilowych na początku i końcu pomiaru.

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

3.6.4. Obliczanie poziomu równoważnego

3.6.4.1. dla znanych poziomów równoważnych:

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

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

gdzie :

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

UWAGA:

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

3.6.4.2. dla znanych poziomów ekspozycyjnych:

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

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

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:

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

gdzie :

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

3.6.5. Obliczanie poziomu długotrwałego średniego

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

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

gdzie :

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

UWAGA:

Powyższy wzór jest wzorem na średnią logarytmiczną poziomów - odpowiada to średniej arytmetycznej energii !!!

3.6.6. Poziom dzienno-wieczorno-nocny L_{DWN} (L_{DEN})

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

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

Następnie:

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

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

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

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

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

3.7. Sumowanie logarytmiczne poziomów akustycznych

Poniższy wzór jest konsekwencją faktu, że wielkością addytywną z fizycznego punktu widzenia jest energia, a zatem wielkość proporcjonalna do p^2 :

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

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 !!!

STAD:

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

$$L_{eq} = L_i + 10 \cdot \lg(x)$$

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

x	1	1,26*	1,5	1,58	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	razy
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 w dB
10%	90%	-0,5 dB
20,6%	79,4%	-1 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%”

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

4. Pomiar poziomu dźwięku

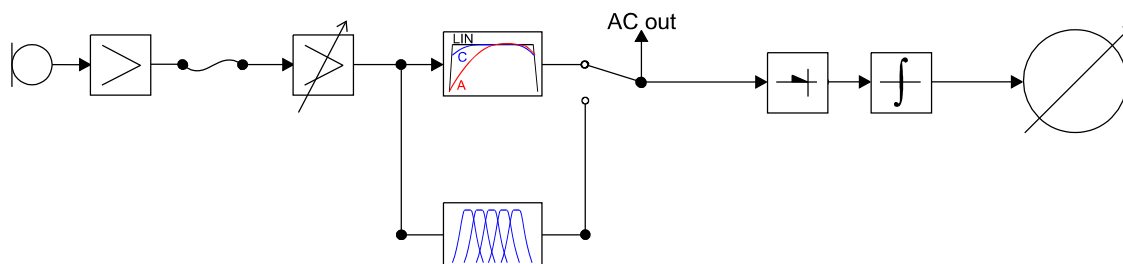
4.1. Schemat ideowy miernika

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

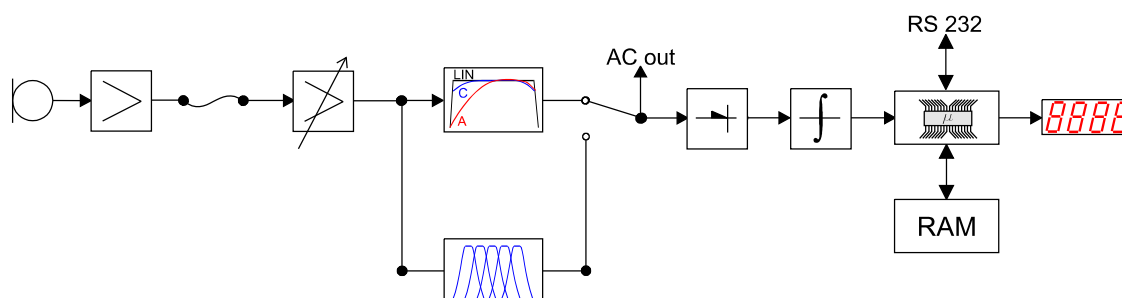
- mikrofon - przetwornik akustyczno-mechaniczny,
- przedwzmacniacz - dopasowujący charakterystykę elektryczną mikrofonu do układu miernika,
- zestaw filtrów korekcyjnych (LIN, A, C),
- układ stałych czasowych (SLOW, FAST, IMPULS),
- detektor RMS i/lub PEAK,
- układ logarytmiczny,
- wskaźnik lub wyświetlacz

Budowę miernika przedstawiono na poniższych przykładach:

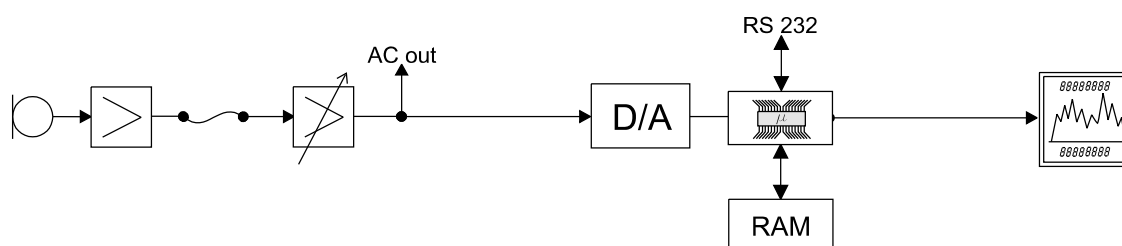
A. miernik analogowy - wskaźnik wskazówkowy (np. Sonopan I-01, Brüel&Kjær 2209)



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



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

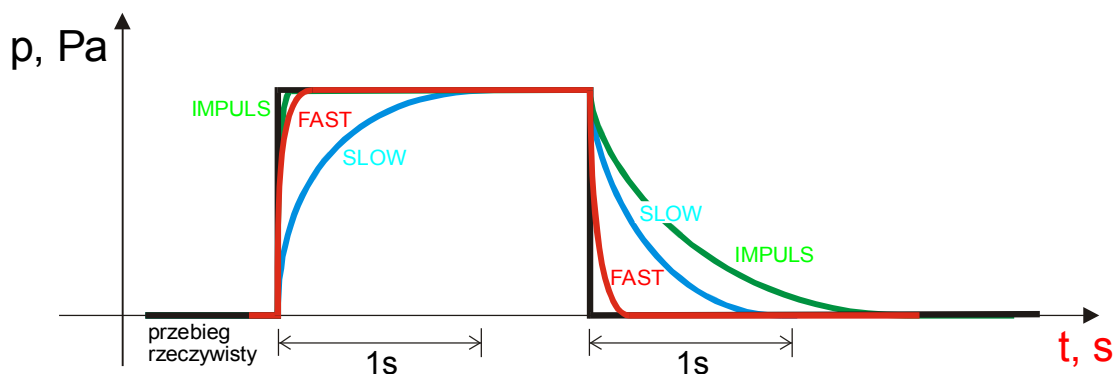


4.2. Stałe czasowe SLOW, FAST, IMPULS

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

Stała czasowa SLOW = 1s, FAST = 125 ms, Impuls = narastanie 35 ms / spadek 1,5 s

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



Wpływ stałych czasowych na wynik pomiaru przedstawia kolejny rysunek.

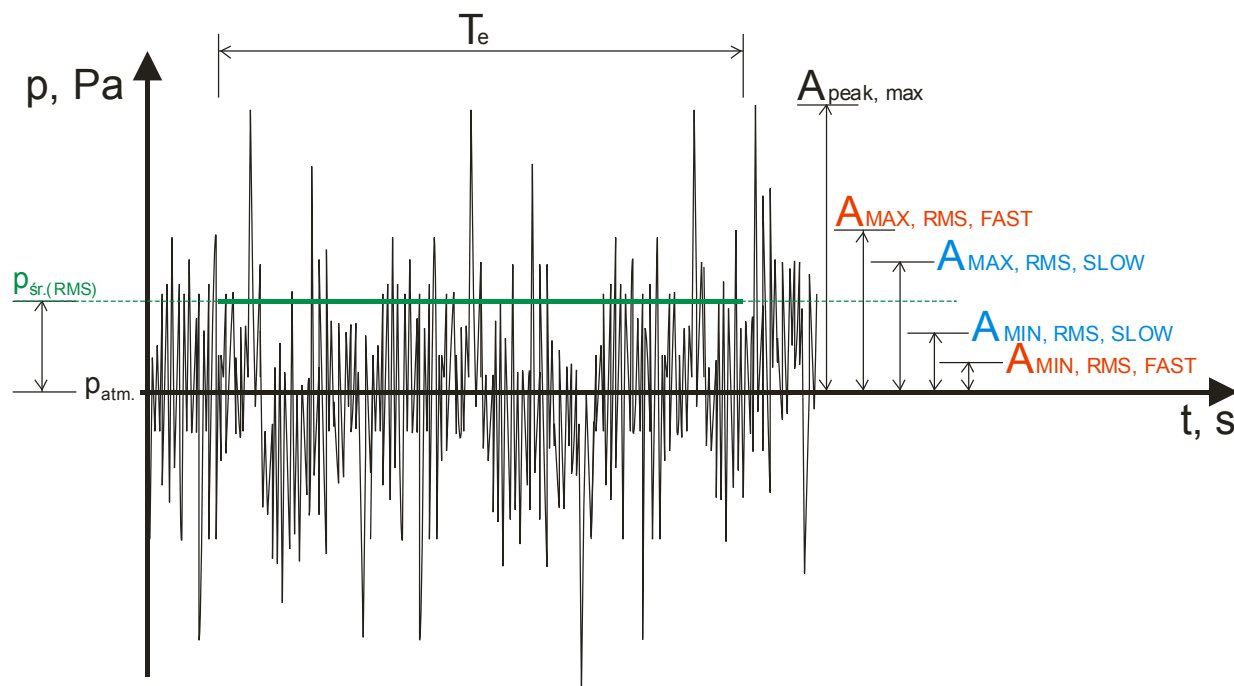
Stała czasowa SLOW uwypukla udział dźwięków o amplitudzie wolnozmiennnej w czasie, pozwalając np. wyeliminować krótkotrwałe zakłócenia akustyczne niebędące przedmiotem badania.

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

Stała czasowa IMPULS odpowiada reakcji ucha na dźwięki impulsowe i uderzeniowe, obecnie wartości poziomów dla tej stałej czasowej nie są normowane.

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.

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

- **SPL** - *Sound Pressure Level* - chwilowa wartość poziomu dźwięku, jako maksymalna wartość RMS z ostatniej sekundy, aktualizowana co 1s,
- **LEQ** - *Equivalent Level* - równoważny poziom dźwięku z czasu pomiaru,
- **SEL** - *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,
- **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 - miernik SVAN 945 może zapisać przebieg czasowy pomiaru w buforze w próbkach RMS co 10ms, 20ms, 50ms, 100ms, 200ms, 500ms, 1s - dotyczy to RMS, MIN, MAX, PEAK.
- **ELT** - *Elapsed Time* lub **TIME** - czas pomiaru.
- **Ln** - poziomy statystyczne - ozn. wartość poziomu dźwięku, która jest przekraczana w n% czasu obserwacji (pomiaru)

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

4.4. Pomiary hałasu - używane pojęcia

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

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

Poziom emisji określa się na podstawie wzoru:

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

UWAGA 1:

W przypadku różnicy pomiędzy poziomem *emisji hałasu* a poziomem *tła akustycznego* powyżej 10 dB można pominąć wpływ tła akustycznego.

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

UWAGA 2:

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

4.5. Protokół pomiarowy

Protokół pomiarowy musi zawierać:

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

UWAGA 1:

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

5. Ochrona przed hałasem

5.1. Przepisy prawa

5.1.1. Ochrona środowiska

- ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. **Prawo ochrony środowiska** (tekst jednolity Dz.U. Nr 25 (2008), poz. 150 z późn. zmianami) - 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 podana 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)

5.1.2. Pomieszczenia w budynkach

- **PN-87/B-02151/02** - *"Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach."* (patrz tabele w p.6.2)
- 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) - §326 przy spełnieniu warunków §147,
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury zmieniające rozporządzenie w sprawie *warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* z dnia 12 marca 2009 r. (Dz.U. Nr 56, poz.461) oraz z dnia 10 grudnia 2010 r. (Dz.U. Nr 239, poz.1597).

5.1.3. Stanowiska pracy

- **PN-EN ISO 9612:2011** - *„Akustyka. Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas. Metoda techniczna”*
- **PN-N-01307 (grudzień 1994)** - *„Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów”*
- rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie *najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy* (dz. u. nr 217, poz. 1833 z 18.12.2002 r.) - **dopuszczalne poziomy hałasu** jak w PN-N-01307 (grudzień 1994) (patrz tabele w p.6.3)
- 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!)

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 **emisji** w punkcie pomiarowym (badane źródło wraz z tłem akustycznym) i zmierzonego osobno **tła akustycznego** (podczas gdy badane źródło nie pracowało) - tzw. **poziom skorygowany względem tła akustycznego**, zgodnie ze wzorem:

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

5.3. Pomiary hałasu w pomieszczeniach - informacyjnie

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

Określane wielkości:

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

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

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

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

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

liczba punktów : min.3 dla kubatury>60m³ (pom.dla ludzi)

wyniki obliczeń : LA = L_{zm.} + K1 + K2

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

Δ	K1
>10 dB	0 dB
6 -10 dB	-1 dB
4 - 5 dB	-2 dB
3 dB	-3 dB
<3 dB	nie można określać L

poprawki na chłonność akustyczną pomieszczeń niezagospodarowych:

pomieszczenie		K2
pokoje	V <25m ³	-5 dB
	25÷40m ³	-4 dB
	40÷60m ³	-3 dB
	V >60 m ³	-2 dB
kuchnia,przedpokój,łazienka,Wc		-2 dB

JAKO WYNIK POMIARU - NAJWYŻSZY WYNIK ze wszystkich PUNKTÓW.

klasa dokładności :

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

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

5.4. Pomiary hałasu na stanowiskach pracy - informacyjnie

Wielkości charakteryzujące hałas:

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

Wzory:

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

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

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

- 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**.

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

6. Załączniki

6.1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku

Tabela 1 / Tabela 3

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami $L_{Aeq D}$ 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	
		$L_{Aeq D}$ 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” (?????)

Tabela 2 / Tabela 4*

Dopuszczalne poziomy hałas w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne wyrażone wskaźnikami $L_{Aeq D}$ 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	
		$L_{Aeq D}$ 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	55	45	45	40
	b) Tereny szpitali, domów opieki społecznej				
	c) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ¹⁾				
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego	60	50	50	45
	b) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe ¹⁾				
	c) Tereny mieszkaniowo-usługowe				
	d) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ²⁾				

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!**

6.2. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach

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

Dopuszczalne poziomy dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi:

lp	przeznaczenie pomieszczenia	dop.równ.		dop.od wyp.techn.			
		od wszyst.		średni/równ.		maks.d>5dB	
		dzien.	noc	dzień	noc	dzień	noc
1	pomieszczenia mieszkalne w budynkach mieszkalnych, internatach, domach rencistów, dziecka, hotelach kategorii S i I, hotelach robotniczych	40	30	35	25	40	30
2	kuchnie i pom.sanitarne 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	

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

6.3. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy

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

Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy ze względu na :

		wielkość	wartość
A	ochronę słuchu - rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (dz. u. nr 217, poz. 1833 z 18.12.2002 r.)		
	• odniesione do 8-godzinnego dnia pracy :		
	- poziom ekspozycji na hałas	$L_{EX,8h}$	85 dB
	- ekspozycja na hałas	$E_{A,Te}$	$3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \text{ s}$
	• maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	115 dB
	• szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	135 dB
B	możliwość realizacji przez pracownika podstawowych funkcji		
	• równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy		
	-w kabinach bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej	$L_{Aeq,Te}$	75 dB
	-w kabinach bezpośredniego sterowania z łącznością telefoniczną	$L_{Aeq,Te}$	65 dB
	-w pomieszczeniach administracyjnych	$L_{Aeq,Te}$	55 dB
	• maksymalny poziom dźwięku A	$L_{A,max}$	115 dB
	• szczytowy poziom dźwięku C	$L_{C,peak}$	135 dB

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

W przypadku hałasu:

1. 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,
2. dla szczytowego poziomu dźwięku C - jako wartość progu działania przyjmuje się wartość NDN wynoszącą 135 dB.

6.4. Uproszczone tablice wykładnicze i logarytmiczne

TABLICE LOGARYTMICZNE do AKUSTYKIantylogarytmy o podstawie 10, czyli 10^x :

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

Przykład:

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

logarytmy o podstawie 10:

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

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

Przykład:

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

6.5. Adresy internetowe stron poświęconych akustyce (wybrane)

Warto zajrzeć na strony:

- **NTL-M.Kirpluk** www.ntlmk.com
- **Liga Walki z Hałasem** www.lwzh.org.pl
- **Polskie Towarzystwo Akustyczne** www.acoustics.org.pl
- **Profon Acoustics** www.profon.xq.pl

Sprzęt pomiarowy:

- **SVANTEK Sp. z o.o.** www.svantek.com
- **Brüel & Kjær** www.bruel.com.pl
- **SONOPAN** www.sonopan.com.pl