

## Lab 2. Pomiar i analiza ciśnienia akustycznego

Przyrządy pomiarowe: laptop, Reaper/Audacity, aktywne urządzenia głośnikowe, miernik poziomu dźwięku SVAN 955 z mikrofonem, kalibrator akustyczny

Cel: Przeprowadzenie pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego i jego parametrów przy użyciu miernika poziomu dźwięku. Zapoznanie z krzywymi korekcyjnymi A, C i Z, stałymi czasowymi slow, fast i impulse; wartościami ekwiwalentnymi, maksymalnymi i wartościami peak (LAeq, LAmaz, LCpeak), pasma oktauwowe i pasma tercjowe (1/3 oktauwowe).

Pojęcia do przygotowania: widmo szumu białego i szumu różowego oraz poziom tych szumów w pasmach oktauwowych, pasma oktauwowe i tercjowe, krzywe korekcyjne A, C, Z

Zadania do wykonania:

1. Określenie lokalizacji źródła dźwięku i lokalizacji punktów pomiarowych

Źródło dźwięku (urządzenie głośnikowe) ustaw na stole tak, aby w odległości metra od niego nie było żadnej (poza stołem) powierzchni odbijającej dźwięk.

Punkt pomiarowy (mikrofon miernika poziomu dźwięku) ustaw w odległości metra od głośnika, tak aby znajdowało się ponad metr od powierzchni odbijających dźwięk. Należy zachować stałą odległość mikrofonu od źródła dźwięku dla każdego z pomiarów.

Czym skutkuje ustawienie źródła dźwięku i/lub mikrofonu przy powierzchni odbijającej dźwięk?

2. Kalibracja miernika poziomu dźwięku

Kalibracja miernika odbywa się przy użyciu referencyjnego źródła dźwięku (kalibratora), który generuje dźwięk o częstotliwości 1 kHz i poziomie 94 dB (SPL) (94 dB(SPL) to ile Pascali [Pa]?).

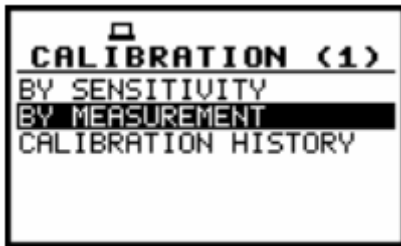
Kalibrator należy zamontować na mikrofonie tak, aby mikrofon i kalibrator znajdowały się pionowo (mikrofon skierowany ku górze). Na mierniku poziomu dźwięku należy włączyć funkcję *Calibration*:

- a) Należy jednocześnie nacisnąć klawisz *Shift* oraz *ESC*

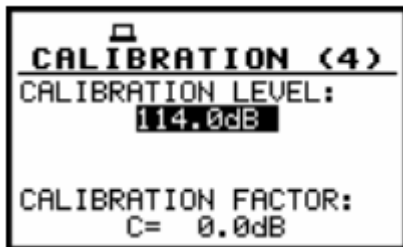


Control push-buttons of the SVAN 958 instrument

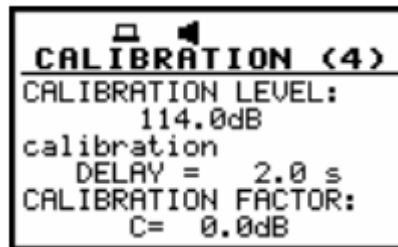
- b) Następnie wybrać opcję *by measurement*



- c) Następnie należy ustawić 94 dB jako poziom kalibracji (Calibration Level) i nacisnąć start. Po wykonaniu kalibracji należy nacisnąć ENTER, żeby zaakceptować poprawkę kalibracyjną



<Start>



- d) Kalibrację należy powtórzyć trzykrotnie. Poprawka w trzech kolejnych kalibracja nie powinna się różnić o więcej niż 0,1 dB.

### 3. Pomiar kilku określonych sygnałów

Przed przystąpieniem do pomiaru należy ustawić odpowiednie parametry pomiarowe, m.in.: Automatyczny zapis pliku i loggera, pomiar w pasmach oktaowych, logger, odpowiednie parametry zapisywane na trzech profilach

Należy ustawić źródło dźwięku i mikrofon miernika poziomu dźwięku w odpowiedniej lokalizacji i dla każdego z sygnału przeprowadzić pomiar trwający od 10 s do 15 s.

Pomiar rozpoczynamy i kończymy naciskając przycisk *Start/Stop*. Należy zapisywać numery plików, które odpowiadają poszczególnym pomiarom.

- a. Szum biały (sample 1)
- b. Szum różowy (sample 2)
- c. Szumy filtrowane (podobny poziom dB(SPL), ale różne widma) (sample 3-6)
- d. Sygnały sinusoidalne (100 Hz, 1 kHz, 10 kHz)
- e. Nagrania sygnałów rzeczywistych: przejazd pociągu, kowal

Pomiary dla punktów od a do d wykonaj dla wartości loggera 1 s.

Pomiary dla punktu e wykonaj dla wartości loggera 1 s i 100 ms.

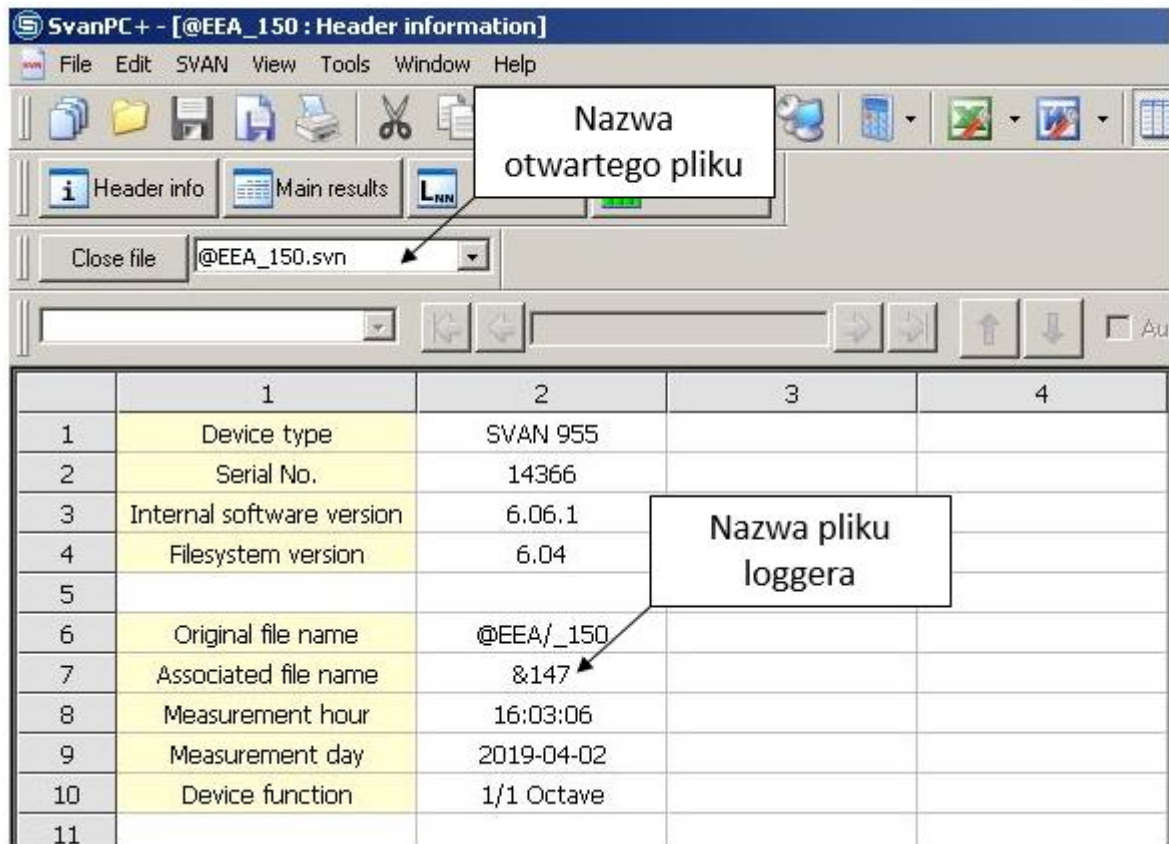
Zmiana loggera: *Shift+ENTER* -> *INPUT* -> *MEASUREMENT SETUP* -> *LOGGER* (zmiana wartości strzałkami w bok).

### 4. Analiza wyników pomiarów:

Zgranie plików na komputer:

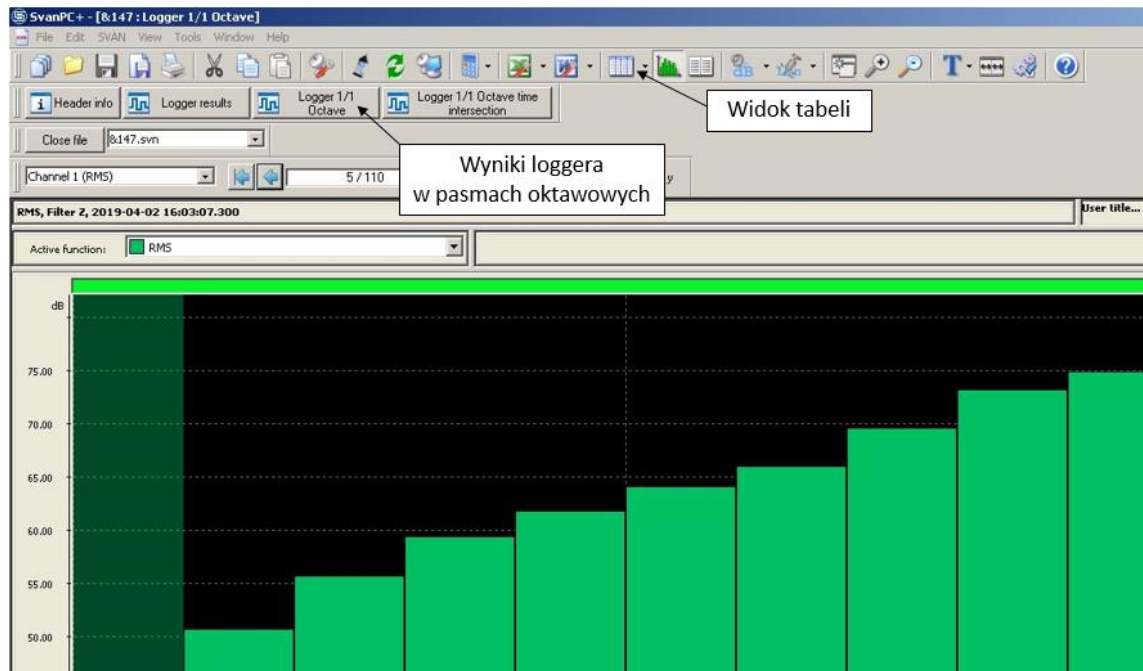
- 1) Podłącz miernik poziomu dźwięku kablem USB do komputera. Włącz program SVAN PC+.
- 2) Na pasku górnym opcja SVAN -> SVAN Files...

- 3) Wybierz odpowiednie pliki nagłówkowe (zaczynają się od znaku @) oraz odpowiadające im pliki Loggera (zaczynają się od znaku &).
- 4) Po otwarciu w programie SVAN PC+ pliku nagłówkowego znajdziemy informację jaki plik loggera jest z nim powiązany



Rys. widok okna programu dla plików nagłówkowego @EEA/\_150. Jak widać z tym plikiem powiązany jest plik loggera o numerze &147

- 5) Otwórz odpowiedni plik loggera
- 6) Kliknij opcję Logger 1/1 Octave a następnie Table



Rys. Logger 1/1 Octave -> Table

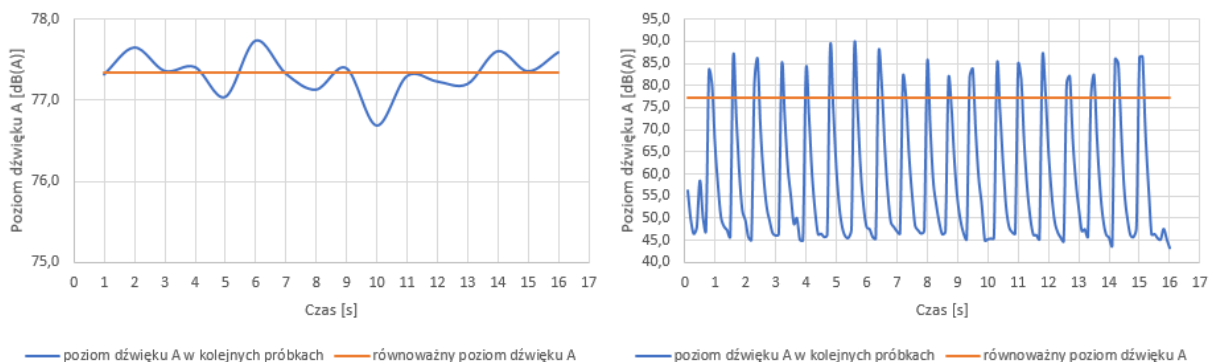
- Zaznacz kolumny z wynikami pomiaru w pasmach oktawowych i eksportuj do arkusza kalkulacyjnego EXCEL

No	Date & time	Ch1 31.5Hz RMS [dB]	Ch1 63.0Hz RMS [dB]	Ch1 125.0Hz RMS [dB]	Ch1 250.0Hz RMS [dB]	Ch1 500.0Hz RMS [dB]	Ch1 1.00kHz RMS [dB]	Ch1 2.00kHz RMS [dB]	Ch1 4.00kHz RMS [dB]	Ch1 8.00kHz RMS [dB]	Ch1 16.0kHz RMS [dB]	Ch1 Total RMS [dB]
1	2019-04-02 16:03:04.100	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
2	2019-04-02 16:03:04.200	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
3	2019-04-02 16:03:04.300	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
4	2019-04-02 16:03:04.400	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
5	2019-04-02 16:03:04.500	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
6	2019-04-02 16:03:04.600	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
7	2019-04-02 16:03:04.700	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
8	2019-04-02 16:03:04.800	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
9	2019-04-02 16:03:04.900	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
10	2019-04-02 16:03:05.000	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
11	2019-04-02 16:03:05.100	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
12	2019-04-02 16:03:05.200	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
13	2019-04-02 16:03:05.300	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
14	2019-04-02 16:03:05.400	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30
15	2019-04-02 16:03:05.500	54.50	57.50	59.50	62.50	64.50	67.50	69.50	71.50	73.50	75.50	76.30

Rys. Eksport do excel (Send to MS Excel)

Dla wszystkich zmierzonych sygnałów przeprowadzić następujące czynności:

- Importuj logger w pasmach oktaowych w zakresie 63 Hz - 8 kHz (przy użyciu programu SvanPC+)
- Oblicz równoważną/ekwiwalentną wartość (średnią) dla każdego pasma oktaowego,
- skoryguj wartości równoważne przy użyciu krzywych korekcyjnych A i C (w pasmach oktaowych),
- obliczyć poziom w pełnym zakresie dla krzywych Z [dB (SPL)], A [dB (A)] i C [dB (C)]
- dla każdej zmierzonej próbki porównaj poziomy w pasmach oktaowych skorygowane krzywymi korekcyjnymi Z, A i C oraz poziom dźwięku A, C i Z w pełnym paśmie
- porównaj wyniki różnych próbek: poziom dźwięku A w pasmach oktaowych, poziom całkowity dla Z, A i C
- Dla a i b: jakie jest teoretyczne widmo szumu białego i szumu różowego i jakie jest teoretyczne widmo w pasmach oktaowych – porównaj z wartościami zmierzonymi
- Dla e: porównaj poziomy dźwięku A w pełnym paśmie pomiarowym dla pomiar pociągu i młotka dla loggera 1 s i 100 ms, zaznacz na wykresie wartość równoważną, jak na poniższym przykładzie:



Rys. Przykładowe porównanie wyników pomiarów dla loggera o długości 1 sekunda (z lewej) i dla loggera o długości 100 ms (z prawej)

- Dla e: rozważ parametry LAeq (równoważny poziom dźwięku A), LMax (poziom maksymalny - mierzony na profilu 2 w mierniku) i LCpeak (poziom szczytowy – mierzony na profilu C)

Instrukcja obsługi miernika poziomu dźwięku:

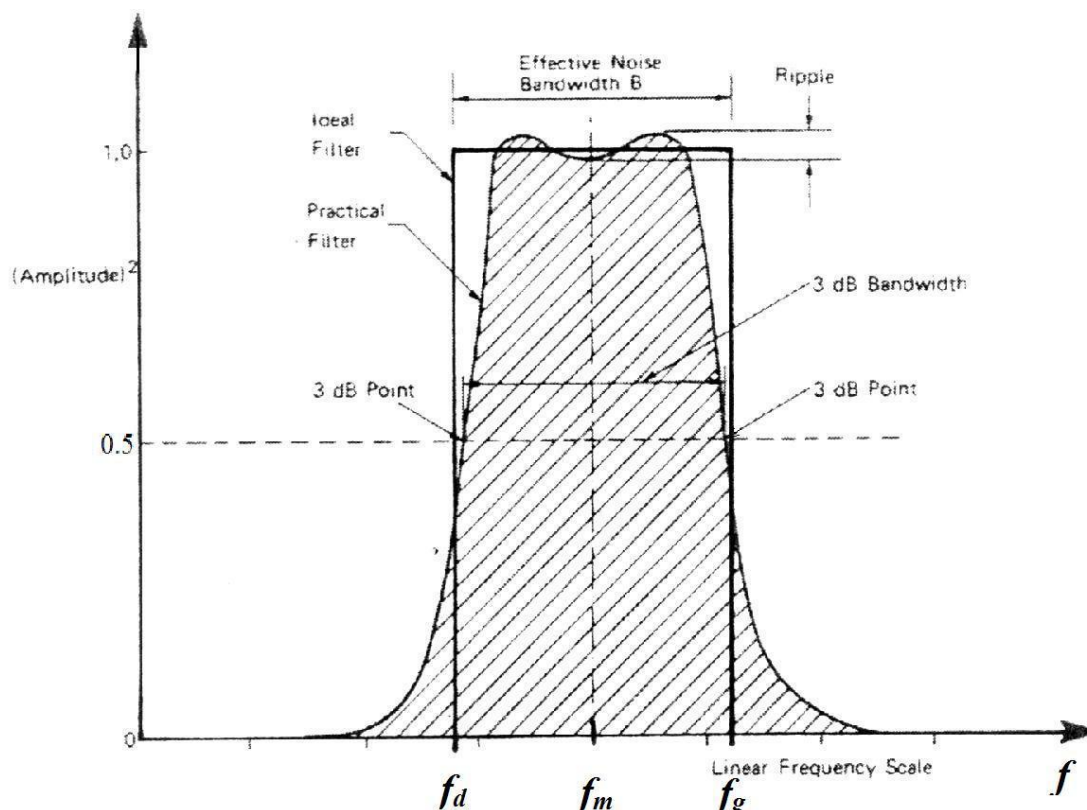
[http://svantek.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/svan\\_958\\_user\\_manual1.pdf](http://svantek.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/svan_958_user_manual1.pdf)

## Pasma oktawowe i 1/3 oktawowe (tercjowe)

Wartość jednoliczbową poziomu dźwięku (w pełnym zakresie częstotliwości) często jest niewystarczająco informacją. Czasami należy również analizować charakterystykę częstotliwościową. Z tego powodu zostały wprowadzone pasma oktawowe (oraz pasma 1/3 oktawowe). Pełny zakres częstotliwości jest dzielony na mniejsze pasma częstotliwości. Każde pasmo częstotliwości obejmuje określony zakres częstotliwości.

Pasma oktawowe są tworzone przez filtrowanie częstotliwościowe przy użyciu określonego filtra pasmowo-przepustowego, dla którego stosunek górnej częstotliwości granicznej ( $f_g$ ) do dolnej częstotliwości granicznej jest równy 2 (oktawa jest to podwojenie częstotliwości).

Pasma 1/3 oktawowe (tercjowe) powstają poprzez filtrację częstotliwościową za pomocą filtrów, dla których stosunek górnej częstotliwości granicznej ( $f_g$ ) do dolnej częstotliwości granicznej jest równy  $\sqrt[3]{2}$ . Każde pasmo oktawowe składa się z trzech pasm 1/3 oktawowych (tercjowych).



Rysunek 1 Charakterystyka częstotliwościowa filtra pasmowo-przepustowego;  $f_d$ ,  $f_g$  – dolna i górna częstotliwość graniczna,  $f_m$  – częstotliwość środkowa,  $B$  – szerokość pasma

Częstotliwości środkowe ( $f_m$ ) wszystkich pasm oktawowych i tercjowych są ściśle określone (tabela 1 i 2).

Warto zauważyć, że kolejne pasma oktawowe (i pasma 1/3 oktawowe) mają różną szerokość pasma bezwzględną ( $f_g - f_d$ ), ale równą szerokość pasma względną ( $f_g / f_d$ ).

Tabela 1 Dolna, środkowa i górna częstotliwość filtrów 1/3 oktawowych

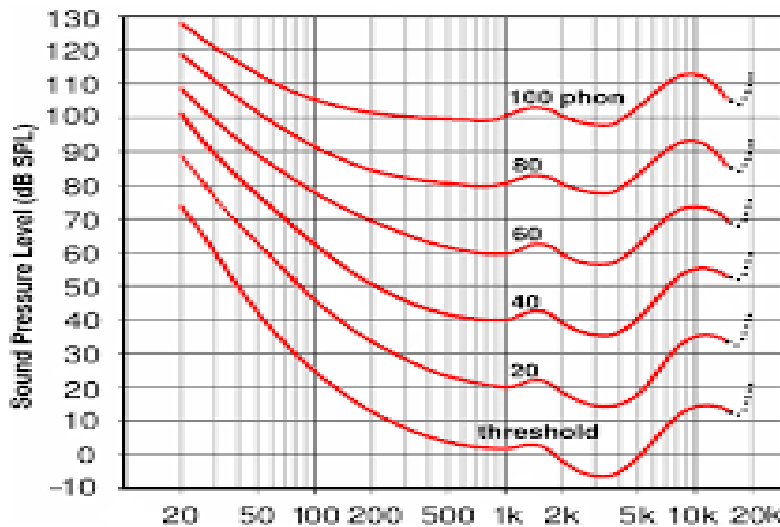
1/3 octave number	fd	fm	fg
1	11,1 Hz	12,5 Hz	14,0 Hz
2	14,3 Hz	16 Hz	18,0 Hz
3	17,8 Hz	20 Hz	22,4 Hz
4	22,3 Hz	25 Hz	28,1 Hz
5	28,1 Hz	31,5 Hz	35,4 Hz
6	35,6 Hz	40 Hz	44,9 Hz
7	44,5 Hz	50 Hz	56,1 Hz
8	56,1 Hz	63 Hz	70,7 Hz
9	71,3 Hz	80 Hz	89,8 Hz
10	89,1 Hz	100 Hz	112,2 Hz
11	111,4 Hz	125 Hz	140,3 Hz
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

Tabela 2 Dolna, środkowa i górna częstotliwość filtrów oktawowych

Octave number	fd	fm	fg
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

## Krzywe korekcyjne (krzywe ważenia) A, C, Z

Poziom ciśnienia akustycznego wyrażony w dB (SPL) nie daje bezpośrednich informacji związanych z tym, jak ludzie słyszą. Oznacza to, że poziom ciśnienia akustycznego nie jest związany z głośnością (rys. 2). Na przykład próg słyszalności dla 1000 Hz wynosi 0 dB (SPL), a dla 50 Hz wynosi około 40 dB (SPL).



Rysunek 1 Wybrane krzywe izofoniczne

Mierniki poziomu dźwięku powinny imitować właściwości ludzkiego ucha. Z tego powodu używane są poziomy dźwięku A i C. Poziomy dźwięku jest wartością skuteczną ciśnienia akustycznego skorygowaną zgodnie z krzywą korekcji A lub C zgodnie ze wzorem:

$$L_{A,C} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_i + K_{A,C}} \right), \text{ dB},$$

gdzie:  $L_i$  – poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym paśmie częstotliwości,

$K_{A,C}$  – korekcja wartości zgodnie z krzywymi ważenia A lub C,

$N$  – numer pasma częstotliwościowego

Oczywiście istnieje więcej niż dwie krzywe korekcyjne, jednak najczęściej używane są A i C.

Filtry korekcyjne A i C, które są wbudowane w miernikach poziomu dźwięku są to wybrane wygładzone krzywe izofoniczne odwrócone „do góry nogami” i odpowiadają:

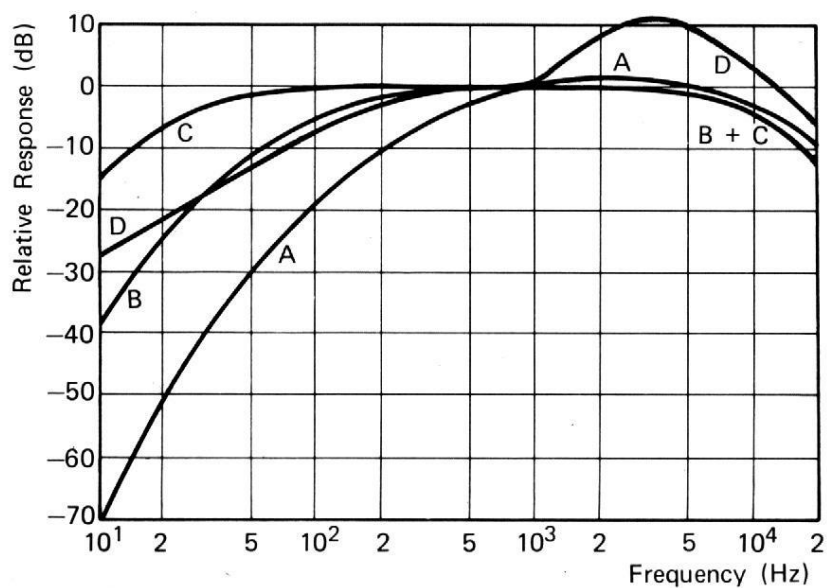
krzywa korekcji A - 40 fonemów,

krzywa korekcji C - 100 fonii.

Krzywa korekcji Z jest krzywą liniową (bez korekcji).

Na rysunku 3 pokazano różne krzywe korekcji. W tabeli 3 pokazano wartość korekcji A i C w paśmie oktawowym.





Rysunek 2 Krzywe korekcyjne A, B, C oraz D

Tabela 3 Wartości korekcji A i C w pasmach oktaowych

Center Frequency [Hz]	Effective Band [Hz-Hz]	A Weighting [dB]	C Weighting [dB]
31,5	22,1 - 44,2	-39.4	-3.0
63	44,2 - 88,4	-26.2	-0.8
125	88,4 - 177	-16.1	-0.2
250	177 - 354	-8.6	0
500	354 - 707	-3.2	0
1000	707 - 1 414	0	0
2000	1 414 - 2 828	1.2	-0.2
4000	2 828 - 5 657	1.0	-0.8
8000	5 657 - 11 314	-1.1	-3.0
16000	11 314 - 22 628	-6.6	-8.5

## Obliczenia wartości poziomu równoważnego (ekwiwalentnego) oraz sumowanie decybeli

Poziom równoważny jest „średnią energetyczną” wartości wyników pomiarów w kolejnych sekundach pomiaru (sekundach jeżeli logger jest ustawiony na 1 sekundę).

Wartość równoważna jest obliczona następującym wzorem:

$$Leq = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right)$$

Formuła w Excelu:  $10 * \log_{10}(\text{ŚREDNIA}(10^{(0,1 * [\text{range}]})$ )

Poziom w pełnym paśmie częstotliwości można obliczyć jako suma poziomów w poszczególnych pasmach oktaowych.

Wartości w decybelach są sumowane zgodnie ze wzorem:

$$Leq = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$$

Formuła w Excelu:  $10 * \log_{10}(\text{SUMA}(10^{(0,1 * [\text{range}]})$ )

Podane formuły w Excelu są to funkcje tablicowe. Naciśnij **CTRL+SHIFT+ENTER** zamiast **ENTER**

Time	Sound Pressure Level in octave bands [dB(SPL)]								Full band
[hh:mm:ss]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	[dB(SPL)]
00:00:01	39,5	40,7	41,6	40,7	41,0	40,1	34,0	31,8	48,7
00:00:02	39,0	39,3	41,1	40,2	41,1	41,0	33,5	32,0	48,4
00:00:03	38,1	38,8	43,7	42,1	41,3	40,6	33,5	32,2	49,2
00:00:04	41,6	37,4	41,9	41,0	41,7	40,9	33,9	31,4	49,0
00:00:05	41,8	38,7	43,3	40,8	41,9	41,2	33,5	31,8	49,5
00:00:06	39,9	40,4	42,1	41,1	43,5	41,0	35,7	34,1	49,6
00:00:07	40,9	38,6	42,6	40,3	40,9	40,7	36,3	32,5	49,0
00:00:08	39,5	39,1	41,9	41,0	41,6	41,0	34,4	31,8	48,8
00:00:09	39,0	39,8	42,5	41,0	40,9	40,1	33,6	32,4	48,7
00:00:10	40,1	39,1	41,6	40,6	41,3	40,2	34,3	32,3	48,6
Equivalent level [dB(SPL)]	40,1	39,3	42,3	40,9	41,6	40,7	34,4	32,3	49,0*
Equivalent level [dB(A)]	13,9	23,2	33,7	37,7	41,6	41,9	35,4	31,2	46,3*
A curve	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
C curve	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3	

Full range level is sum of octave band level  
 $10 * \log_{10}(\text{SUM}(10^{(0,1 * [\text{range}]})$ )

Equivalent level is average of results  
 $10 * \log_{10}(\text{AVERAGE}(10^{(0,1 * [\text{range}]})$ )

Sound level A:  
 result in current octave band  
 + A correction value

\*Może to być obliczone na dwa sposoby:

- 1) Napierw oblicz poziom równoważny w każdym z pasm oktaowych a następnie dodaj poziomy w pasmach oktaowych, aby uzyskać równoważny poziom w pełnym paśmie
- 2) Dodaj poziomy w pasmach oktaowych dla każdego loggera osobno, a następnie oblicz poziom równoważny w pełnym paśmie