



## Ćwiczenie 14

# Pomiar czasu pogłosu



## I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- przybliżenie studentom zagadnienia pomiaru czasu pogłosu i parametrów akustycznych pomieszczenia,
- poznanie programu do analizy sygnałów dźwiękowych - Audacity.

## II. Wstęp teoretyczny

Pole akustyczne jest przestrzennym układem nakładających się na siebie fal akustycznych. Właściwości akustyczne pomieszczeń wynikają z takich cech pola jak układ kierunków biegu fal, intensywność efektu nakładania się fal, tj. ich wzmacnianie się lub wygaszanie, prędkość narastania lub zanikania energii. Przewidywanie właściwości akustycznych pomieszczeń podczas ich projektowania wymaga określenia ww. cech pola dla danego kształtu pomieszczenia i układu materiałów odbijających i pochłaniających dźwięk. Do tego celu służą trzy metody analizy pola akustycznego w pomieszczeniach: falowa, geometryczna i statystyczna. Każda z nich pozwala badać inny zespół cech pola, zaś zastosowane łącznie pozwalają przewidzieć właściwości akustyczne pomieszczenia. Metoda statystyczna opiera się na założeniu, że pole akustyczne jest izotropowe, tj. właściwości akustyczne pomieszczenia są jednakowe w każdym jego punkcie. Metoda statystyczna została opracowana przez amerykańskiego akustyka Wallace'a Clementa Sabine'a ok. 1895 r. Podstawowym jej celem jest obliczenie czasu pogłosu  $RT_{60}$  pomieszczenia. Według definicji jest to czas, po upływie którego moc pola po wyłączeniu stacjonarnego źródła dźwięku zmniejsza się milion razy (w mierze logarytmicznej o 60 dB). U podstaw metody statystycznej leży założenie, że w pomieszczeniu istnieje izotropowe, stacjonarne pole akustyczne. Oznacza to, że do każdego punktu pomieszczenia docierają fale o fazach przypadkowych i mocach równomiernie rozłożonych w pełnym kącie bryłowym wokół tego punktu, oraz że dźwięk istniejący w pomieszczeniu nie ulega zmianom w czasie. Wobec izotropowości pola, moc pola w stanie stacjonarnym i czas pogłosu są jednakowe we wszystkich punktach pomieszczenia i nie zależą od położenia źródła dźwięku. Jest to sytuacja wyidealizowana, tj. nie występująca w warunkach rzeczywistych. Przyjęcie takiego założenia pozwala jednak na wyprowadzenie prostych wzorów obliczeniowych. W przypadku pola akustycznego, izotropowe pole akustyczne można z dobrym przybliżeniem wytworzyć w tzw. komorach pogłosowych, tj. pomieszczeniach przeznaczonych do pomiarów właściwości akustycznych materiałów używanych m.in. w akustyce pomieszczeń. Dla zapewnienia izotropowości pola długość, szerokość i wysokość prostopadłościanu zawierającego opisywane pomieszczenie są do siebie zbliżone. Z gorszym przybliżeniem założenia metody statystycznej są spełnione w pomieszczeniach, których ściany pochłaniają dźwięk w niejednakowym stopniu. Dotyczy to większości pomieszczeń spotykanych na co dzień, w szczególności sal użytku publicznego (sale koncertowe, audytoria, kina itp.). Wobec silnego pochłaniania dźwięku przez widownię a jednocześnie znikomego pochłaniania przez ściany i sufit, w salach tych izotropowość pola jest mniejsza niż w komorach

pogłosowych. Ponieważ izotropowość pola, potocznie rozumiana jako silne rozproszenie dźwięku, jest korzystna dla akustyki sal, często stosuje się łamanie i profilowanie ścian oraz sufitu. Rozproszeniu dźwięku sprzyja także obecność w sali kolumn, balkonów, kasetonów sufitowych itp. Izotropowość pola jest wówczas na tyle duża, że wzory oparte na metodzie statystycznej mogą być stosowane do projektowania akustycznego sal (patrz m.in. niżej podane wzory na czas pogłosu). Należy jednak mieć świadomość, że wobec nie spełnienia wszystkich założeń metody statystycznej wzory te dają wynik przybliżony. Z racji zbyt dużego odstępstwa od wymogu izotropowości pola, metoda statystyczna nie dotyczy pomieszczeń o długości, szerokości i wysokości znacznie się różniących, np. długich i wąskich korytarzy, rozległych i niskich hal itp. Metoda nie dotyczy również przypadków, gdy fazy rozchodzących się fal są na tyle uporządkowane, że interferują one ze sobą. Ma to miejsce w przypadku, gdy długość fal jest tego samego rzędu, co wymiary pomieszczenia. Manifestuje się wówczas falowa natura pola akustycznego, analizowana przy użyciu metody falowej. Przejawem falowej natury pola są tzw. fale stojące, będące efektem interferencji fal. Pomieszczenie działa wówczas jak rezonator akustyczny. W rezultacie, wraz ze zmniejszaniem się częstotliwości dźwięku zjawisko opisywane metodą falową, tj. rezonans akustyczny, coraz bardziej dominuje energetycznie nad zjawiskiem opisywanym teorią statystyczną, tj. rozproszeniem pola. Częstotliwość  $f$  rozdzielającą zakresy występowania zjawisk statystycznych i falowych opisuje zależność:

$$f = 4000 (T/V)^{1/2}$$

gdzie:  $T$ - czas pogłosu [s],  $V$ - objętość pomieszczenia [ $m^3$ ].

### **Chłonność akustyczna materiałów pokrycia ścian i elementów wyposażenia pomieszczeń**

Na akustykę pomieszczenia wpływa jego kształt i wielkość, a także chłonność akustyczna powierzchni wewnętrznych pomieszczenia i wszystkich znajdujących się w nim obiektów (elementy wyposażenia, meblowanie, osoby itp.).

Jednostką chłonności akustycznej jest “Sabine”, w układzie jednostek SI wyrażany w  $m^2$ .

1 Sabine odpowiada całkowitemu pochłanianiu dźwięku na powierzchni  $1 m^2$ . Właściwość taką ma np. otwarte okno o powierzchni  $1 m^2$ , które całkowicie “pochłania” padające na nie dźwięki.

Chłonność akustyczną obiektów znajdujących się w pomieszczeniu można określić na dwa sposoby:

- przez podanie chłonności danego obiektu, np. mebla, elementu wyposażenia, osoby itp.,
- przez pomnożenie współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha$  dotyczącego danego materiału przez pole powierzchni tego materiału

$$A = \alpha S$$

gdzie:  $\alpha = E_{\text{pochł}} / E_{\text{pad}}$

$E_{\text{pochł}}$ ,  $E_{\text{pad}}$  : energia fali pochłoniętej i energia fali padającej w jednostce czasu,

$S$ : pole powierzchni materiału,  $m^2$ .

Wartości  $A$  i  $\alpha$  dla poszczególnych obiektów i materiałów są publikowane w literaturze specjalistycznej ( Tab. 1).

Zgodnie powyższym wzorem współczynnik  $\alpha$  może przyjmować wartości  $0 \leq \alpha \leq 1$  ( $\alpha=0$  dla  $E_{\text{pochł}}=0$ , tj. przy całkowitym odbiciu fali;  $\alpha=1$  dla  $E_{\text{pochł}}=E_{\text{pad}}$ , tj. przy całkowitym pochłonięciu). Zarówno chłonność akustyczna obiektu  $A$  jak i współczynnik  $\alpha$  zależą od częstotliwości dźwięku.

### Wzory obliczeniowe czasu pogłosu RT60

Czas pogłosu  $T(\text{RT60})$  jest obliczany z poniższych wzorów wg wyboru prowadzącego:

Wzór Sabine'a:

$$T = \frac{0.161 V}{S \alpha_{\text{sr}} + A_0}$$

gdzie  $V$ : objętość pomieszczenia w  $\text{m}^3$ ,

$S$ : całkowite pole powierzchni wewnętrznej pomieszczenia w  $\text{m}^2$ ,

$\alpha_{\text{sr}}$ : średnia ważona współczynników pochłaniania dźwięku  $\alpha_i$  poszczególnych ścian o polach powierzchni  $S_i$ :

$$\alpha_{\text{sr}} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i}$$

$A_0$  : łączna chłonność akustyczna obiektów znajdujących się w pomieszczeniu:

$$A_0 = \sum_{j=1}^j A_j$$

$A_j$  : chłonność akustyczna pojedynczego obiektu,

$j$ : liczba obiektów w pomieszczeniu.

Wzór Sabine'a jest przeznaczony dla pomieszczeń słabo wytlumionych ( $\alpha_{\text{sr}} < 0.2$ , wartość  $A$  mała w porównaniu z  $S\alpha_{\text{sr}}$ ). Przy większych wartościach  $\alpha_{\text{sr}}$  wzór daje błędne wyniki. Np. dla pomieszczenia pustego i całkowicie wytlumionego ( $A=0$ ,  $\alpha_{\text{sr}}=1$ ), zamiast spodziewanego  $T=0$  odpowiadającego brakowi odbić otrzymuje się  $T=0.161V/S$ . W związku z rozwojem ujęcia Sabine'a i powstaniem całej rodziny wzorów wolnych od tego ograniczenia (patrz niżej), wzór Sabine'a dzięki swojej prostocie nadal pozostaje w użyciu.

Wzór Eyringa:

$$T = \frac{0.161 V}{-S \ln(1 - \alpha_{\text{sr}}) + A_0}$$

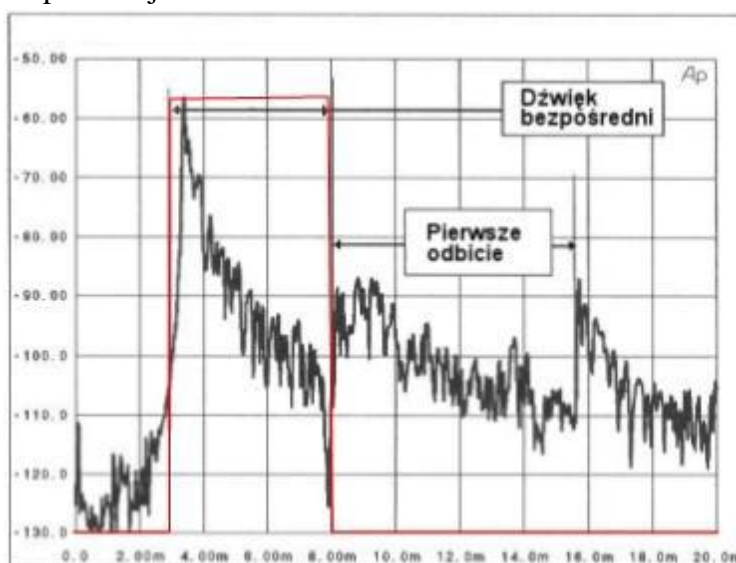
Wzór dla pomieszczeń o dowolnym stopniu wytlumienia, poszczególne materiały nie powinny jednak mocno różnić się co do właściwości dźwiękochłonnych, tj. ich współczynniki pochłaniania dźwięku  $\alpha_i$  nie powinny leżeć wyłącznie na skrajach zakresu  $\langle 0,1 \rangle$ . Tłumienie

ośrodka nie jest uwzględnione, co powoduje, że przy objętości pomieszczenia powyżej 1000 m<sup>3</sup> i częstotliwości dźwięku powyżej 1000 Hz wynik staje się niedokładny. W odróżnieniu od wzoru Sabine'a, wzór Eyringa można stosować dla wszystkich wartości  $\alpha_{sr}$ . Dla  $0 < \alpha_{sr} < 0.2$  różnica względna  $\Delta T$  między czasem pogłosu obliczonym każdym z tych wzorów nie przekracza ok. 9%.

### Zasada pomiaru impulsowego

Metoda pomiaru impulsowego w charakterze pobudzenia stosuje krótki impuls o bardzo wysokiej amplitudzie. Może to być na przykład sygnał szumu białego. Warunkiem jest to, że wykorzystywany impuls powinien mieć bardzo szerokie widmo energii i stałą gęstość widmową mocy w stosunku do szerokości pasma.

Problem fal odbitych jest rozwiązany poprzez bramkowanie odbiornika. To znaczy, analizator dźwięku jest włączany, w chwili przybycia fali bezpośredniej do punktu pomiarowego, a wyłączany w chwili pojawienia się pierwszego odbicia. Tak uzyskana odpowiedź impulsowa odpowiada fali bezpośredniej, tak jakby nie było fal odbitych. Rys. 1 przedstawia przykład takiej odpowiedzi impulsowej.



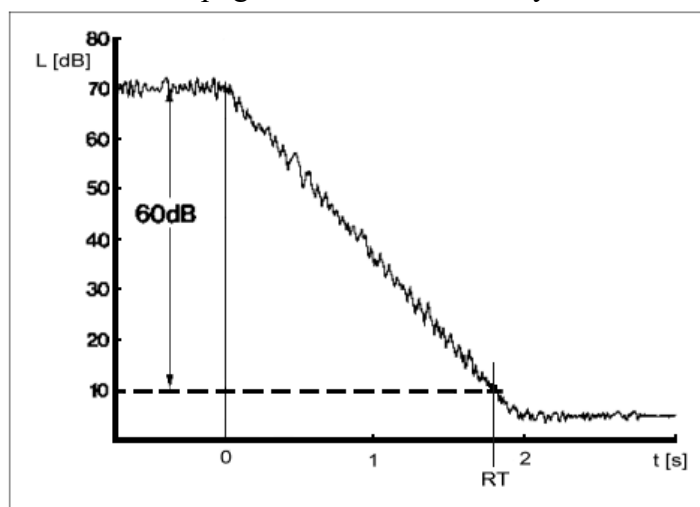
Rys. 1. Dźwięk bezpośredni, który jako jedyny podlega analizie.

Metoda ta jest prosta w realizacji, aczkolwiek jest również stosunkowo mało dokładna. Krótki czas trwania fali bezpośredniej sygnału pogarsza dokładność analizy. Wyodrębnienie „części bezpośredniej” odebranego sygnału nie jest zbyt dokładne. Dodatkowo krótki czas trwania impulsu i jego mała energia powoduje niski stosunek sygnału do szumu, przez co trzeba powtarzać pomiar kilkakrotnie oraz uśredniać otrzymane wyniki. Istnieje również ograniczenie częstotliwości dla „części bezpośredniej” sygnału. Otóż sygnał trwający  $t$  sekund musi mieć częstotliwość przynajmniej  $1/t$  [Hz].

## Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia

Akustyka pomieszczeń zamkniętych, zwana również akustyką wewnątrz to zagadnienie skomplikowane. Istnieje wiele parametrów, które należy wziąć pod uwagę, aby przewidzieć jak "zachowa" się pomieszczenie po wstawieniu aparatury nagłośnieniowej.

Czas pogłosu jest najistotniejszym parametrem akustycznym pomieszczenia, podstawową wielkością używaną w akustyce architektonicznej. Czas pogłosu określa tłumienność fal dźwiękowych wewnątrz pomieszczenia, czyli czas zanikania dźwięku w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła dźwięku. Zanik dźwięku jest zdefiniowane jako spadek poziomu dźwięku o 60 dB względem poziomu dźwięku źródła. Parametr ten oznacza się najczęściej symbolem RT60. Sposób wyznaczania czasu pogłosu zilustrowano na rys. 2.



Rys. 2. Zmniejszenie energii akustycznej w pomieszczeniu o 60 dB [5].

Dla porównania oblicza się czas pogłosu z zależności teoretycznych, do których wprowadza się parametry charakteryzujące geometrię pomieszczenia i zdolność tłumiącą materiałów pokrywających powierzchnie ścian, podłogi, sufitu i obiektów znajdujących się w pomieszczeniu (fotele, dywany, zasłony).

Proces rozchodzenia się energii akustycznej w pomieszczeniu jest następujący:

- fale dźwiękowe ze źródła odbijają się kolejno od ścian,
- fale, które, po przebyciu drogi równej jakiejś wielokrotności ich długości, trafiają z powrotem do źródła,
- w ten sposób tworzą się fale stojące, zwane modami.

Kiedy ilość energii dostarczanej przez źródło jest równa ilości energii pochłanianej przez wszystkie elementy pomieszczenia (oraz znajdujące się w pomieszczeniu), gęstość energii i ciśnienie akustyczne są stałe.

W momencie wyłączenia źródła dźwięku energia w pomieszczeniu zaczyna maleć. To jak ta energia maleje, a zarazem ciśnienie akustyczne, jest związane z zanikaniem drgań własnych pomieszczenia. Zależy to od liczby i rozkładu drgań własnych pomieszczenia, jego zmian



średniego współczynnika pochłaniania dźwięku dla danej częstotliwości oraz rodzaju i rozłożenia materiałów dźwiękochłonnych.

Czas pogłosu decyduje o możliwości zastosowania pomieszczenia do różnych celów. Zalecane długości czasu pogłosu RT60 dla wybranych miejsc, to:

- w salach koncertowych w środku pasma 1,5 – 2,5 [s]
- w teatrach dramatycznych: 1 – 1,5 [s],
- w studiu nagraniowym – 0,5 - 1 [s]
- w studiu do nagrań lektorskich – 0,3 – 0,5 [s],
- w małych salach seminaryjnych – 0,6- 0,9 [s],
- w reżyserni – 0,2 – 0,4 [s].

Jak widać, w salach koncertowych czas pogłosu może być nawet 10-krotnie razy dłuższy niż np. dla reżyzerskich studiów nagraniowych.

Teoretyczny czas pogłosu pomieszczenia może być obliczony na podstawie parametrów pomieszczenia. Wykonuje się to na podstawie wzoru W. Sabine'a, autora pionierskich badań z dziedziny akustyki wnętrz.

$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \alpha_{sr}}$$

gdzie:

0,161 — współczynnik dobrany doświadczalnie, zależny od warunków propagacji,

V — objętość pomieszczenia [m<sup>3</sup>],

A — całkowita chłonność akustyczna pomieszczenia =  $\sum S_i \times \alpha_i$  , gdzie  $S_i$  i  $\alpha_i$  to powierzchnia i jej współczynnik pochłaniania (fragmentu powierzchni całkowitej wewnętrznej pomieszczenia),

S — całkowite pole powierzchni w pomieszczeniu [m<sup>2</sup>],

$\alpha_{sr}$  — średni współczynnik pochłaniania powierzchni w pomieszczeniu.

Współczynniki pochłaniania dla konkretnych materiałów, można odczytać z odpowiednich tabel (patrz tabela 1). Jak widać, są one zależne od częstotliwości.

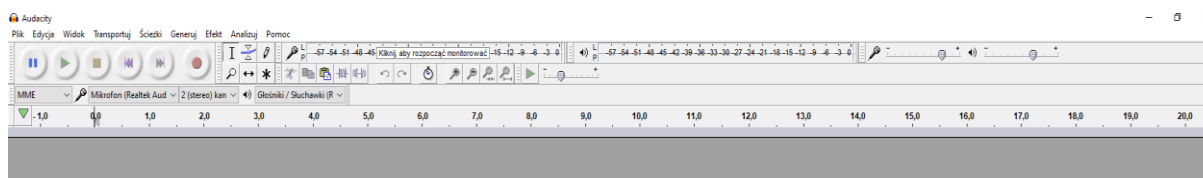
Tabela 1. Współczynniki pochłaniania dźwięku niektórych materiałów (także tabela w Załącznikach)

Współczynnik pochłaniania dźwięku						
Material / Częstotliwość	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
<b>Cegła</b>	.03	.03	.03	.04	.05	.07
<b>Tynk na cegle</b>	.01	.02	.02	.03	.04	.05
<b>Tynk na betonie</b>	.12	.09	.07	.05	.05	.04
<b>Płyta betonowa nie malowana</b>	.36	.44	.31	.29	.39	.25
<b>Płyta bet. wstępnie malowana</b>	.10	.05	.06	.07	.09	.08
<b>Sklejka o gr. 1cm - panele</b>	.28	.22	.17	.09	.10	.11
<b>Marmur, płytki, glazura</b>	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
<b>Płytki PCV na podłodze</b>	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
<b>Szkło okienne, typowe</b>	.035	.25	.18	.12	.07	.04
<b>Podłoga betonowa</b>	.01	.01	.02	.02	.02	.02
<b>Linoleum na betonie</b>	.02	.03	.03	.03	.03	.02
<b>Gruby dywan na betonie</b>	.02	.06	.14	.37	.66	.65
<b>Wykładzina podłogowa</b>	0.03	0.04	0.06	0.1	0.2	0.35
<b>Parkiet</b>	.15	.11	.10	.07	.06	.07
<b>Sufit – płyta gipsowa</b>	.29	.10	.05	.04	.07	.09
<b>Sufit – płyta gipsowa tynkowana</b>	.14	.10	.06	.05	.04	.03
<b>Otwór kanału wentylacyjnego</b>	0.75	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85

Wzór Sabine'a daje wiarygodne rezultaty tylko wtedy, gdy pole akustyczne w pomieszczeniu jest idealnie rozproszone oraz średni współczynnik pochłaniania powierzchni jest mały i nie przekracza wartości 0,2.

### Opis programu Audacity 2.1.3; procedura pomiarowa

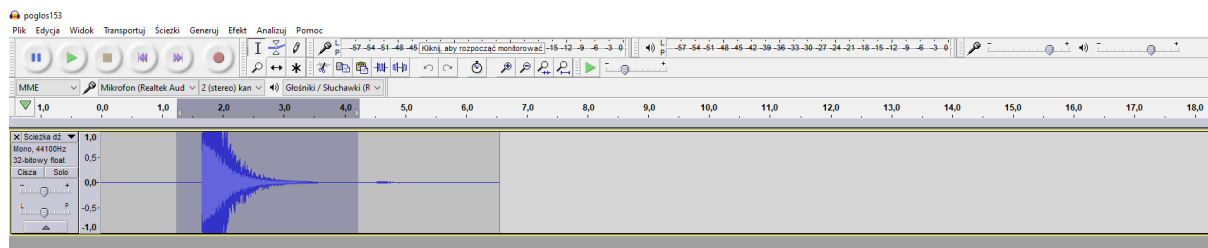
Uruchomić program Audacity. Na ekranie pojawi się panel sterowania.



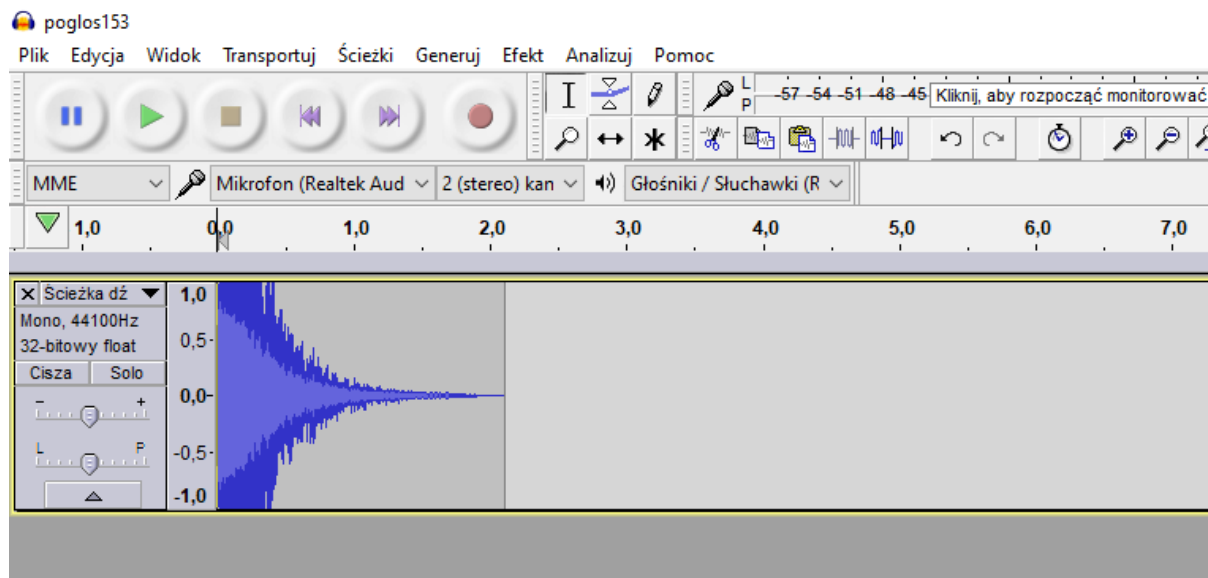
Przygotować tor rejestracji komputera (mikrofon jest na wyposażeniu laptopa). Dokonać wyboru (druga linia poleceń) w 2(stereo) kan rejestracja 1(mono) kanał. Przygotować napompowany balon do przebicia. Włączyć rejestrację sygnału w panelu sterowania (symbol



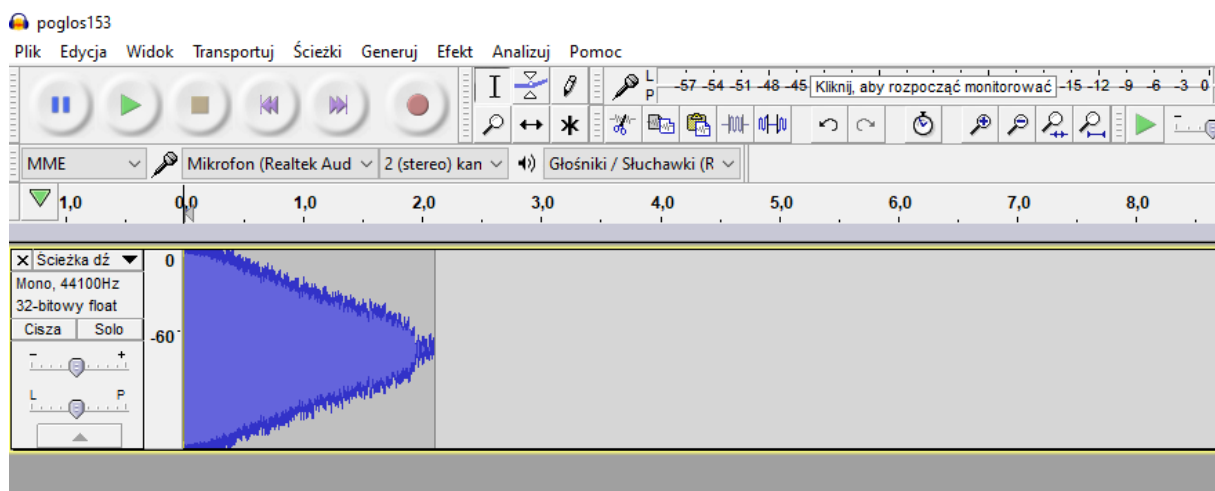
kółka). Po 2-3 sekundach dokonać przebicia balonu. Rejestrować sygnał około 20 sekund. Zakończyć rejestrację (brązowy kwadrat w pierwszej linii). W panelu sterowania Edycja zarejestrować otrzymany sygnał w przygotowanym folderze komputera lub pendrivie. Analiza; obliczanie czasu pogłosu RT60. Otworzyć zarejestrowany plik (klikamy Plik i wybieramy otwórz). Otworzy się plik rejestracji sygnału (sali 153).



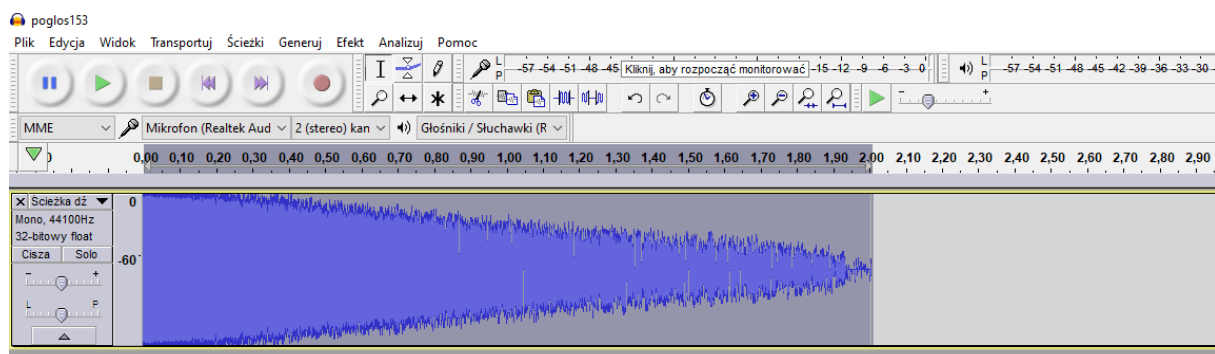
Przygotowanie sygnału do analizy; pozostawienie jedynie fragmentu sygnału odcinając przedni i końcowy fragment gdzie sygnał jest zerowy poprzez przesunięcie myszką kursora z lewej i prawej strony w stronę sygnału i użycie funkcji delete. Otrzymamy fragment przygotowany do analizy RT60.



Klikamy Efekt a w nim opcję normalizacja potwierdzając ustawienie domyślne. Następnie klikamy i rozwijamy: Ścieżka dźwiękowa, wybieramy: kształt fali (przebieg czasowy (dB)).



Klikając na symbol lupy + rozwijamy sygnał w czasie.



Przykładamy przezroczystą linijkę wzdłuż opadającej linii sygnału i poszukujemy punktu przecięcia z osią czasu, co odpowiada spadkowi sygnału o 60 dB. W przykładzie RT60 ~ 1,95 sek.

### III. Literatura

- [1] I. Malecki: "Teoria fal i układów akustycznych". PWN, Warszawa 1964.
- [2] A. Witkowski: "Kryteria obiektywnej oceny jakości akustycznej pomieszczeń". Przegląd Techniki, Radio i Telewizja w Publikacjach Zagranicznych, nr 4, 1994, str. 46-52.
- [3] A. Witkowski, A. Kulowski: "Subiektywna ocena jakości akustycznej pomieszczeń". Przegląd Techniki, Radio i Telewizja w Publikacjach Zagranicznych, nr 2, 1996, str. 1-6.
- [4] Metody pomiaru w przestrzeni ograniczonej  
<http://sound.eti.pg.gda.pl/student/elearning/lekcje/temat6.htm>
- [5] Czas pogłosu (RT) <http://www.hifi.pl/slownik/czaspoglosu.php>
- [6] PN-EN ISO 3382-2. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach. (p.509, p.704).

#### IV. Zagadnienia do opracowania

1. Ogólne wiadomości o falach, podział fal ze względu na kierunek drgań, fala biegnąca, fala stojąca, rezonans akustyczny.
2. Prędkość rozchodzenia się fal w powietrzu, zależność prędkości od temperatury powietrza.
3. Tony, dźwięki, szumy.
4. Widmo fal akustycznych, próg słyszalności, próg bólu.
5. Prawo Webera-Fechnera.
6. Sposoby wyrażania głośności (poziom natężenia, ciśnienie akustyczne), jednostki (dB, fony).
7. Budowa i zasada działania słuchawki, mikrofonu.
8. Czas pogłosu i metody jego wyznaczania.

#### V. Zestaw przyrządów.

1. Zestaw komputerowy z oprogramowaniem.
2. Mikrofon.
3. Balony
4. Miarka metrowa lub laserowa.

## VI. Wykonanie doświadczenia i opracowanie wyników

1. Narysować schematyczne rozstawienie sprzętu pomiarowego w sali pomiarowej i dokonać pomiaru geometrii pomieszczenia.
2. Obliczyć teoretyczny czas pogłosu pomieszczenia na podstawie wzoru
$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \alpha_{sr}}$$
3. Przyjąć, że średni współczynnik pochłaniania powierzchni w pomieszczeniu wynosi 0,2. Wprowadzić do wzoru rozmiary geometryczne pomieszczenia.
4. Zarejestrować kilkakrotnie odpowiedzi impulsowe pomieszczenia wygenerowane za pomocą pękającego balonika gumowego.
5. Zmodyfikować własności akustyczne pomieszczenia np. poprzez otwarcie drzwi, okien, użycie zaston.
6. Zarejestrować odpowiedzi impulsowe pomieszczenia po modyfikacji jak w punkcie 3.
7. Dokonać analizy odpowiedzi impulsowych uzyskanych programem Audacity, obliczenia czasów pogłosu.
8. Obliczenie wpływu modyfikacji własności akustycznych pomieszczenia na jego czas pogłosu  $\Delta L = 10 \log (RT60_{\text{mod}}/RT60_{\text{org}})$  [dB].
9. Porównać wyniki czasu pogłosu otrzymane doświadczalnie metodą impulsową. Odnieść je do wartości obliczonej na podstawie wzoru z punktu (2). Z czego mogą wynikać różnice?
10. Na podstawie uzyskanych wyników ocenić pomieszczenie pod kątem jego typowych zastosowań.
11. Porównać otrzymane RT60 z wynikami analizy rejestracji z bazy danych (dla innych porównywalnych sal).
12. Wnioski i spostrzeżenia dotyczące przebiegu ćwiczenia i uzyskanych wyników.

13. Sporządzić opinię dla organu procesowego.

Sprawozdanie ma mieć charakter przykładowej opinii biegłego tzn.: zawierać takie elementy jak:

- imię, nazwisko, stopień i tytuł naukowy, specjalność i stanowisko zawodowe biegłego;
- imiona i nazwiska oraz pozostałe dane innych osób, które uczestniczyły w przeprowadzeniu ekspertyzy, ze wskazaniem czynności dokonanych przez każdą z nich, w przypadku opinii instytucji - także pełną nazwę i siedzibę instytucji;
- czas przeprowadzonych badań oraz datę wydania opinii;
- szczegółowy opis nadesłanego materiału dowodowego, porównawczego (sposób zabezpieczenia podczas transportu, opis opakowania, jego cechy ogólne i indywidualne) i cytowane pytania organu procesowego;
- informację o zastosowanych technikach i metodach;
- sprawozdanie z przeprowadzonych badań i obserwacji;
- interpretację wyników i wnioski;
- podpisy wszystkich biegłych, którzy uczestniczyli w wydaniu opinii.

Opinia powinna być napisana zrozumiałym językiem, a wnioski powinny być bardzo czytelne, zwłaszcza dla organów procesowych (dla prokuratury i sędziego).

### Dodatek

Wielkością najbardziej prawdopodobną dla skończonej liczby  $N$  pomiarów jest **średnia arytmetyczna** dana zależnością:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

gdzie:  $i$  jest numerem pomiaru a  $x_i$  wynikiem  $i$ -tego pomiaru.

Miarą niepewności wartości średniej  $\bar{x}$  jest **odchylenie standardowe średniej arytmetycznej** serii pomiarów wyrażone zależnością:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}.$$