



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Paweł Kogut**

**Projekt eFizyka – Multimedialne środowisko nauczania  
fizyki dla szkół ponad gimnazjalnych**

**Wirtualne Laboratorium Fizyki**

**Ćwiczenie:**

***„Efekt Dopplera”***

*(Instrukcja obsługi)*

*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach funduszu  
społecznego POKL, priorytet III, działanie 3.3*

**Warszawa 2014**

## Spis treści

1. Cel Ćwiczenia .....	3
2. Zjawisko Dopplera– teoria w zarysie .....	3
3. Eksperyment .....	5
4. Wirtualne Ćwiczenie .....	8
4.1. Panel Użytkownika .....	8
4.2. Przygotowanie Aparatury do pomiarów .....	11
4.3. Wykonanie Ćwiczenia .....	13
4.4. Procedura Pomiarowa .....	15
5. Analiza danych i generowanie sprawozdania .....	23
6. Dodatek .....	26
6.1. Stolik przesuwu liniowego .....	26
6.2. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów .....	26
Dla dociekliwych.....	29

## 1. Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie zjawiska Dopplera poprzez pomiar zmiany częstotliwości dźwięku nadawanego przez źródło poruszające się ruchem jednostajnym. W ćwiczeniu należy dokonać pomiaru prędkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu, oraz zbadać możliwość pomiaru prędkości ruchomych obiektów w oparciu o efekt Dopplera.

## 2. Zjawisko Dopplera – teoria w zarysie

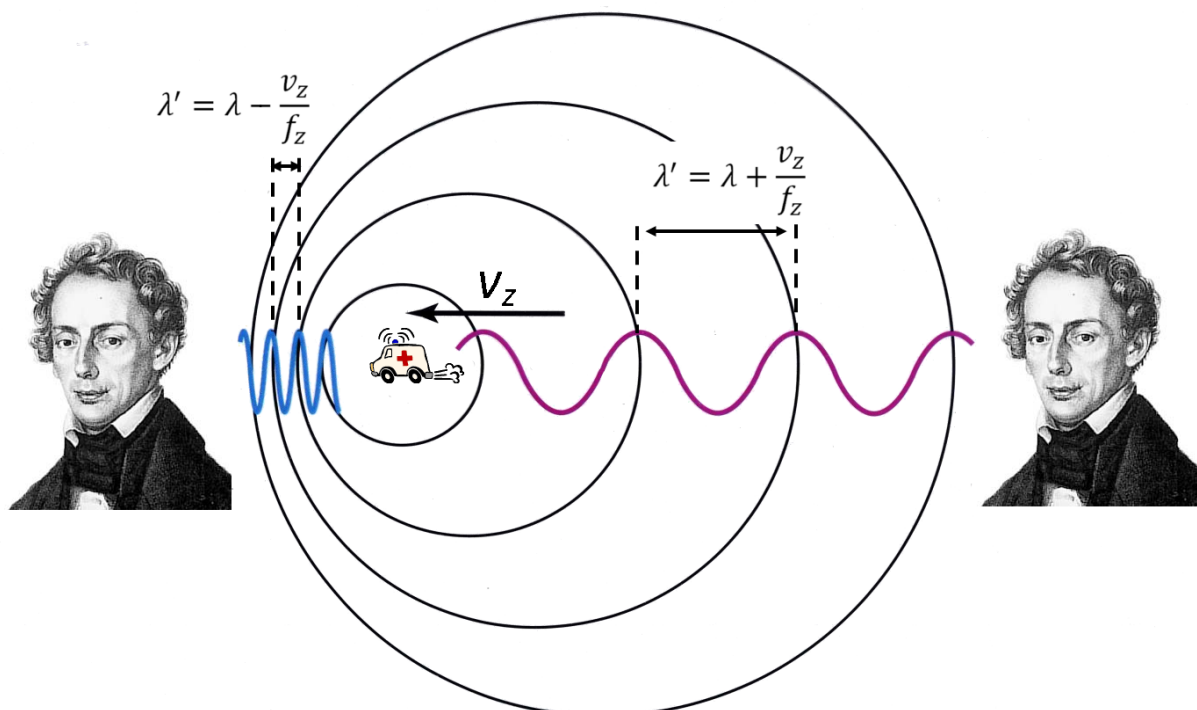
Zjawisko (efekt) Dopplera – pozorna zmiana obserwowanej częstości fali, będąca wynikiem ruchu źródła fali względem obserwatora. Zjawisko to zostało odkryte przez austriackiego fizyka Christian Johann Doppler (1803-1853), jako próba wytłumaczenia przesunięcia ku czerwieni długości fal gwiazd.

Ze zjawiskiem Dopplera spotykamy się na co dzień, szczególnie zauważalne jest ono dla fal akustycznych (aczkolwiek zjawisko to zachodzi dla wszystkich rodzajów fal). Na przykład wydaje się, że gdy mijają nas karetki wysokość dźwięku (częstotliwość) nadawanego przez karetkę się zmienia. Gdy karetka zbliża się do obserwatora dźwięk wydaje się wyższy a gdy oddala niższy. W rzeczywistości wysokość dźwięku nadawanego przez karetkę jest stała. Dlaczego więc wysokość dźwięku odbierana przez obserwatora się zmienia? Wytłumaczenia będziemy szukać na poniższym prostym przykładzie. Na rys. 1 widzimy źródło dźwięku poruszające się z pewną prędkością  $v_z$  w kierunku nieruchomego obserwatora. Jak widać z rys. 1 docierająca fala do obserwatora ulega wydłużeniu lub skróceniu w zależności od tego czy źródła się przybliża czy oddala od obserwatora. Wytłumaczyć to można w następujący sposób założymy, że źródło dźwięku i obserwator pozostają wzajemnie w spoczynku (są nieruchomi), fala dotrze do obserwatora po czasie  $t_0$ ,

$$t_0 = \frac{l}{v_{ac}},$$

gdzie  $v_{ac}$  – prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w powietrzu (lub innym medium akustycznym np. wodzie),  $l$  – odległość pomiędzy źródłem dźwięku, a obserwatorem. W przypadku w którym, źródło dźwięku się porusza a obserwator pozostaje w spoczynku, fala dotrze do niego szybciej lub wolniej (w zależności od kierunku ruchu źródła) po czasie,

$$t_x = \frac{l}{v_{ac} \pm v_z},$$



**Rys. 1** Zjawisko Dopplera dla ruchomego źródła dźwięku i nieruchomego obserwatora

Opóźnienie w czasie powoduje, że kolejne grzbiety i doliny fali są odbierane przez obserwatora częściej lub rzadziej tak jak pokazano to na rys. 1. Jak pamiętamy częstotliwość definiuje ilość pełnych długości fal (grzbietów oraz dolin) odbieranych w czasie 1s. Tak więc na wskutek przesunięcia czasu dotarcia fali, obserwator ma wrażenie, że częstotliwość odbieranego sygnału nazwijmy ją  $f_m$  jest inna niż emitowana przez spoczywające źródło  $f_z$ . Względna różnica zmiany tych częstotliwości musi być równa względnej zmianie czasu dotarcia fali do obserwatora, a więc,

$$\frac{f_m - f_z}{f_z} = \frac{t_x - t_0}{t_0} \Rightarrow \frac{f_m - f_z}{f_z} = \frac{\mp v_z}{v_{ac} \pm v_z}.$$

Upraszczając powyższe otrzymujemy znany wzór zmiany częstotliwości odbieranego sygnału znane jako zjawisko (efekt) Dopplera,

$$f_m = f_z \frac{v_{ac}}{v_{ac} \pm v_z}.$$

Zjawisko Dopplera można wykorzystać do pomiaru prędkości obiektów, bądź do pomiaru prędkości rozchodzenia się fal, wystarczy uprościć wzór na zmianę częstotliwości do postaci,

$$v_z = \pm v_{ac} \frac{f_m - f_z}{f_m}.$$

Jak widać prędkość źródła dźwięku jest wprost proporcjonalna do prędkości rozchodzenia się fali. Znając  $v_{ac}$  w danym ośrodku np. w powietrzu  $v_{ac} \approx 340 \text{ m/s}$ , można wyznaczyć prędkość poruszającego się obiektu poprzez pomiar zmiany częstotliwości odbieranego sygnału. Zjawisko to jest wykorzystywane przez radiowe urządzenia pomiaru prędkości pojazdów. Jeżeli natomiast wiemy z jaką prędkością porusza się źródło dźwięku możemy wyznaczyć prędkość rozchodzenia się fali.

W ogólnym przypadku, w którym źródło dźwięku i obserwator są w ruchu zmiana częstotliwości można wyznaczyć z zależności,

$$f_m = f_z \frac{v_{ac} \pm v_o}{v_{ac} \pm v_z},$$

Gdzie  $v_o$  – prędkość obserwatora.

### 3. Eksperyment

W eksperymencie badany jest sygnał akustyczny emitowany przez głośnik umieszczony na ruchomym stoliku. W skład zestawu eksperymentalnego wchodzi,

- Mikrofon
- Głośnik
- Komputer z kartą muzyczną
- Stolik z przesuwem liniowym
- Silnik elektryczny i zasilacz

Głośnik wykorzystano jako źródło dźwięku, który posiada możliwość poruszania się wzdłuż osi, na której umieszczono mikrofon. Głośnik i mikrofon są ze sobą akustycznie sprzężone przez powietrze. Głośnik umieszczony jest na platformie znajdującej się na stoliku przesuwu liniowego (patrz rys. 3). Ruch platformy sterowany jest za pośrednictwem silnika elektrycznego zasilanego przez zewnętrzny układ zasilacza. Za pośrednictwem zasilacza możliwe jest precyzyjne ustawienie prędkości platformy stolika  $v_z$  z dokładnością do  $1 \text{ cm/s}$ . Sygnał akustyczny nadawany jest przez komputer za pośrednictwem karty muzycznej.

Generowany sygnał dźwiękowy to przebieg sinusoidalny (ton), którego częstotliwość i amplitudę można regulować za pomocą oprogramowania w komputerze, widocznego jako wirtualny panel (zobacz rys. 3). Sygnał jest odbierany przez mikrofon i próbkowany przez kartę muzyczną. Odebrany i spróbkowany sygnał jest następnie analizowany przez oprogramowanie w komputerze, które wyznacza za pośrednictwem analizy Fouriera (algorytmu FFT – szybkiej transformaty Fouriera) częstotliwość odbieranego sygnału. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 2, a na rys. 3 przedstawiono rzut ekranu wirtualnego eksperymentu.

W eksperymencie należy przeprowadzić pomiary,

➤ Prędkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu,

W tym celu należy zmierzyć zmianę częstotliwości  $f_m$  dla zadanej wartości  $f_z$ , przy różnych wartościach i kierunku ruchu głośnika celem dopasowania punktów pomiarowych do funkcji liniowej zgodnie z zależnością (5).

➤ Prędkość poruszania się głośnika,

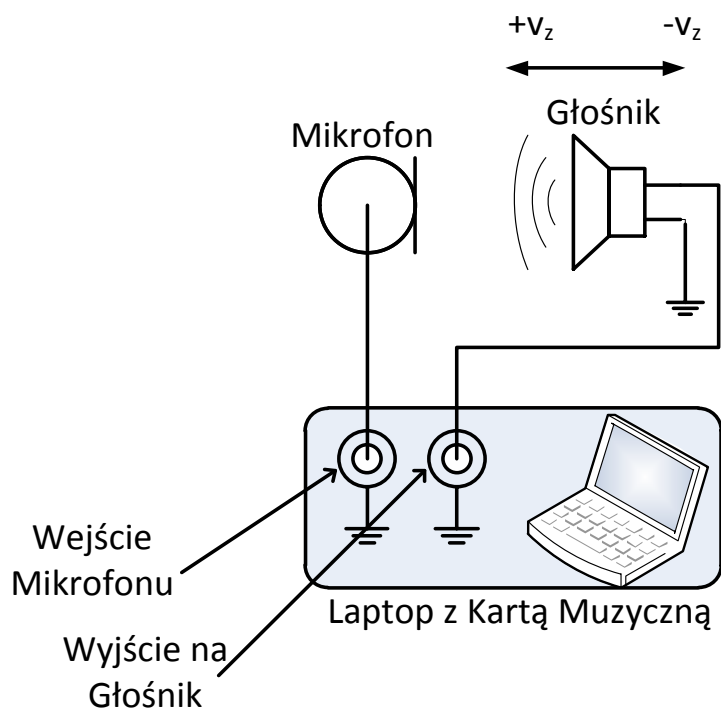
W tym eksperymencie należy zmierzyć zmianę częstotliwości  $f_m$  dla zadanej wartości częstotliwości  $f_z$  i prędkości  $v_z$ . Pomiary należy przeprowadzić wielokrotnie celem wyznaczenia wartości średniej prędkości przesuwu głośnika  $v_{zp}$  wyznaczonej z wzoru (5). Wartość średnia równa jest średniej arytmetycznej z wszystkich pomiarów,

$$v_{zp} = \frac{v_{z1} + v_{z2} + \dots + v_{zn}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{zi}}{n}, \quad (7)$$

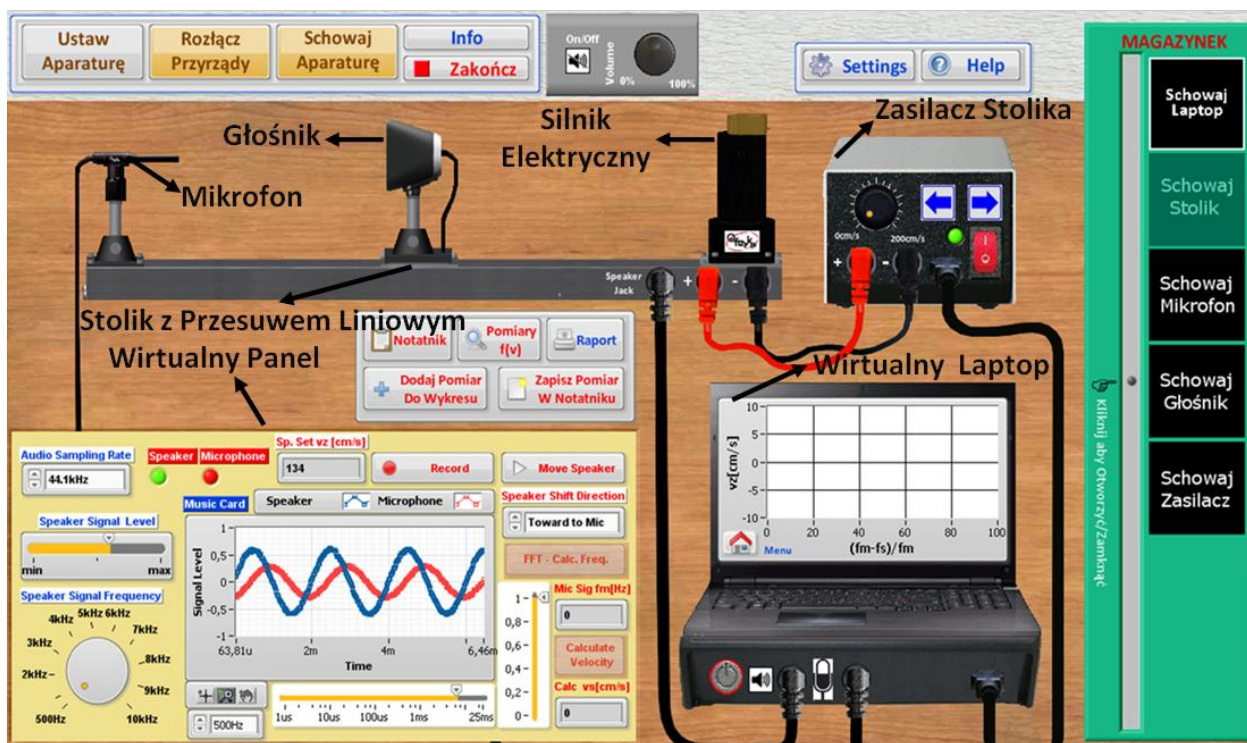
gdzie  $n$  – liczba wszystkich pomiarów. Błąd pomiaru można wtedy wyznaczyć jako podwojona wartość odchylenia standardowego,

$$\Delta v_{zp} = 2\sigma_{v_{zp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{zi} - v_{zp})^2}{n-1}}. \quad (8)$$

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys. 2 Schemat układu pomiarowego do badania efektu Dopplera



Rys. 3 Rzut ekranu wirtualnego ćwiczenia "Akustyczny Efekt Dopplera"

## 4. Wirtualne Ćwiczenie

Wirtualne ćwiczenie „Efekt Dopplera”, jest symulacją doświadczenia badania efektu dopplera.

### 4.1. Panel Użytkownika

Panel użytkownika składa się z dwóch pól menu z przyciskami, wirtualnego magazynka na aparaturę pomiarową, oraz przycisku wirtualnego notatnika. Aparatura pomiarowa po jej wybraniu z wirtualnego magazynku jest umieszczana na widoku stołu laboratoryjnego tworzącego tło panelu użytkownika. Na rys. 1 przedstawiono widok panelu użytkownika z zaznaczonymi obiektami menu, wirtualnego magazynka i notatnika. Przeznaczenie wybranych obiektów jest następujące,

#### 1. Menu Główne

- Przycisk „Podłącz Przyrządy” – umożliwia na automatyczne połączenie/rozłączenie aparatury pomiarowej. Przycisk ten jest dostępny gdy cała potrzebna aparatura została skompletowana na stole laboratoryjnym
- Przycisk „Wyciągnij Aparaturę” - umożliwia na automatyczne skompletowanie/schowanie aparatury pomiarowej z wirtualnego magazynku
- Przycisk „Info” – wyświetla okno informacji na temat projektu realizacji Wirtualnego Ćwiczenia,
- Przycisk „Zakończ” – kończy działanie programu.

#### 2. Help

- Przycisk „Help” – wyświetla okienko pomocy (zobacz rys. 2),

#### 3. Pole ustawienia poziomu głośności

Za pomocą tego pola można ustawić poziom głośności lub wyłączyć dźwięk,

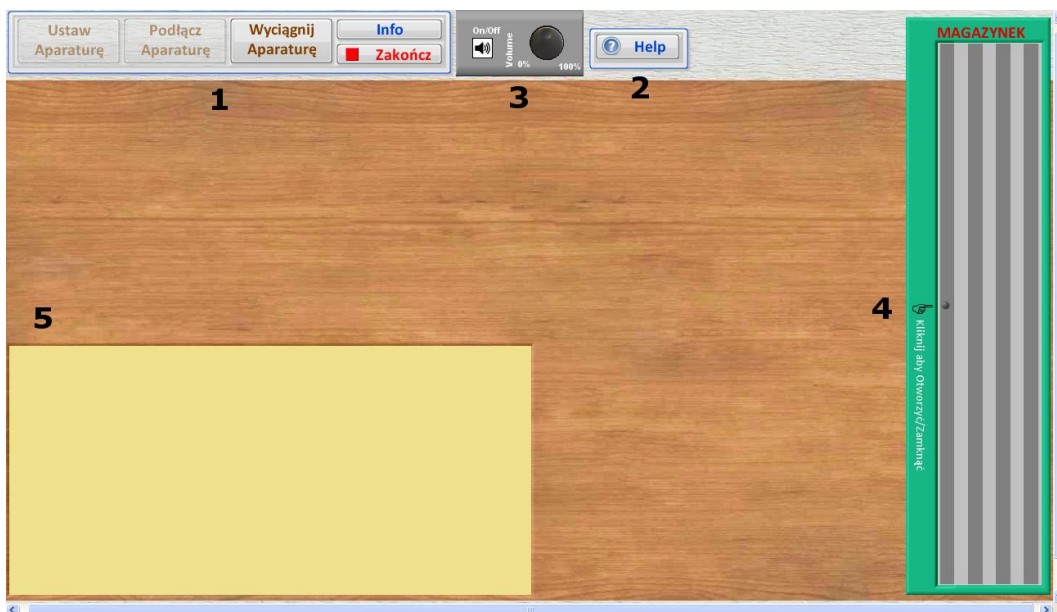
#### 4. Wirtualny Magazynek

Jest to obiekt, który symuluje działanie magazynu na aparaturę pomiarową

#### 5. Pole wirtualnego programu obsługi karty muzycznej



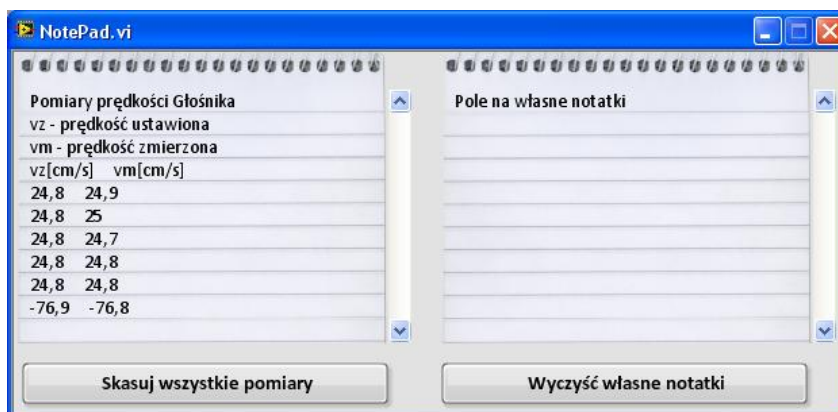
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys. 1 Panel użytkownika wirtualnego ćwiczenia



Rys. 2 Widok okna pomocy



Rys. 3 Widok okna notatnika

Okno pomocy umożliwia uzyskanie pomocy na temat dalszych kroków postępowania w trakcie wykonywania eksperymentu, umożliwia podejrzenie aktualnego stanu eksperymentu oraz uruchomienie programu samouczka. Program pomocy działa równolegle do programu głównego, co oznacza, że okno to można wykonywać operacje w programie głównym i jednocześnie korzystać z okna pomocy. W pomocy dostępne są następujące obiekty,

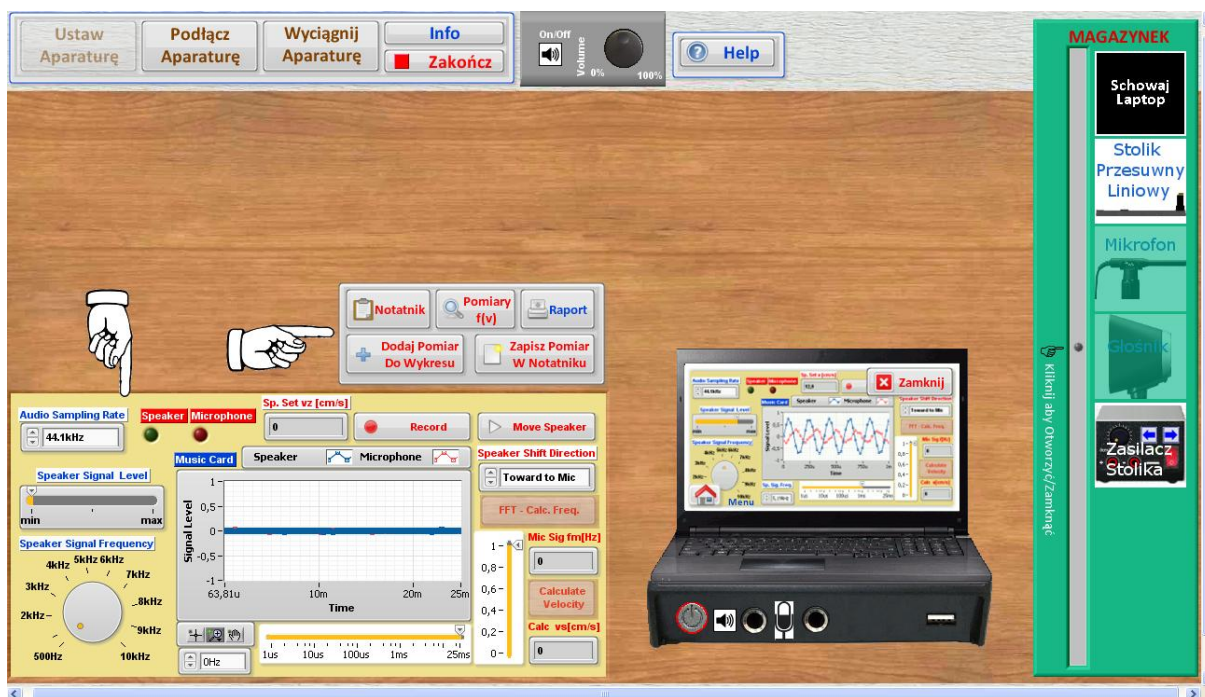
- Cztery diody – informują o aktualnym stanie przygotowania aparatury pomiarowej,
- Przycisk „Skrypt” – otwiera dokument PDF z opisem zarysu teoretycznego, ! uwaga w systemie musi być zainstalowana przeglądarka dokumentów PDF
- Przycisk „Procedura Pomiarowa” – otwiera dokument PDF z opisem procedury pomiarowej,
- Przycisk „Przeglądanie i usuwanie pomiarów” – otwiera dokument PDF z opisem metody przeglądania i usuwania danych pomiarowych,
- Przycisk „Samouczek” – uruchamia interaktywny tryb samouczka w programie głównym, który przeprowadza użytkownika przez wszystkie etapy wykonywania ćwiczenia,
- Przycisk „Podpowiedź” – wyświetla bieżącą podpowiedź dla użytkownika. Jest ona zależna od stanu diod, na podstawie, których dopierana jest odpowiednia podpowiedź,
- Przycisk „Wskazówki” – wyświetla wskazówki dotyczące obsługi programu wirtualnego ćwiczenia, jak zacząć i co robić.

Dodatkowo po otwarciu programu obsługi aparatury pomiarowej z pulpitu wirtualnego laptopa, w polu 5 z rys. 1, widoczny jest wirtualny pulpit programu, oraz widoczne jest dodatkowe menu obsługi danych pomiarowych, co przedstawia które składa się z,

- Przycisku „Notatnik” – otwiera okienko notatnika, w którym można podejrzeć wartości zapisywanych danych pomiarowych i wpisać własne uwagi, które są przechowywane do momentu zakończenia programu lub ich usunięcia. Okno notatnika działa równolegle do programu głównego,

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- Przycisku „Pomiary f(v)” – umożliwia obserwację aktualnie zbieranych pomiarów na dużym wykresie, oraz na usunięcie niechcianego wyniku pomiaru lub całej serii,
- Przycisku „Raport” – otwiera podprogram analizy danych i generowania sprawozdania. Należy go zastosować po zebraniu wszystkich wyników pomiarowych,
- Przycisku „Dodaj Pomiar Do Wykresu” – zapisuje aktualnie mierzony punkt pomiarowy na wykresie programu wirtualnego laptopa,
- Przycisku „Zapisz Pomiar W Notatniku” – zapisuje aktualnie mierzony punkt pomiarowy w notatniku,



Rys. 4 Wirtualny Panel obsługi karty muzycznej i aparatury pomiarowej

#### 4.2. Przygotowanie Aparatury do pomiarów

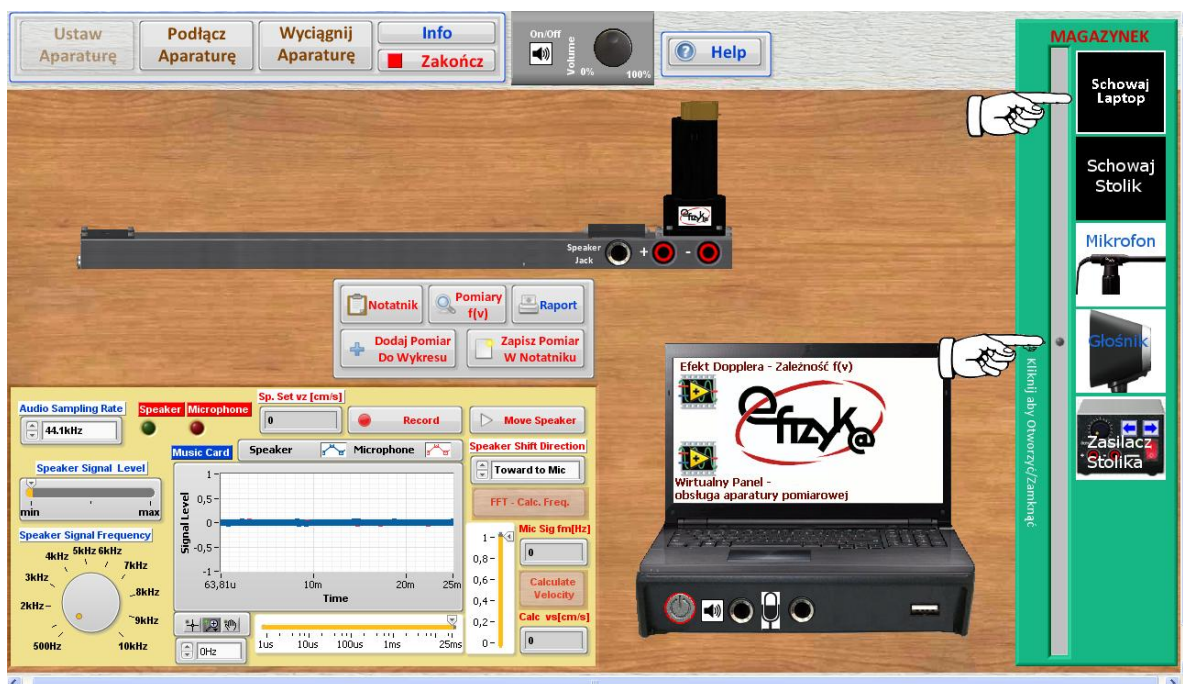
Wykonywanie eksperymentu należy rozpocząć od skompletowania aparatury pomiarowej. W tym celu postępuj zgodnie z rys. 5, na którym przedstawiono kolejno kroki 1-3,

- 1) Otwórz magazynek
- 2) Wybierz zawartość magazynku
- 3) Wybierz aparaturę.

Kroki 1-3 powtarzaj, aż uda ci się skompletować całą aparaturę, lub skorzystaj z przycisku „Wyciągnij Aparaturę” tak jak pokazano to na rys. 6. W trakcie automatycznego wyboru aparatury otworzy się okienko z polem wyboru eksperymentu, który użytkownik chce przeprowadzić. Następnie należy włączyć i podłączyć aparaturę. W celu podłączenia aparatury postępuj zgodnie z rys. 7 oraz wykonując następujące kroki,

- 1) Włącz zasilanie w aparaturze,
- 2) Podłącz przewody do aparatury.
  - a. Ręcznie – wybierając dane wejście/wyjście danego przyrządu
  - b. Automatycznie - wybierając przycisk „Podłącz Przyrządy”

W trakcie wyboru wejścia/wyjścia danego przyrządu podświetli się wejście/wyjście, aparatury do którego należy ten przewód podłączyć. O poprawnym skompletowaniu i połączeniu aparatury świadczą zapalone na pomarańczowo przyciski „Schowaj aparaturę” i „Rozłącz Przyrządy”.



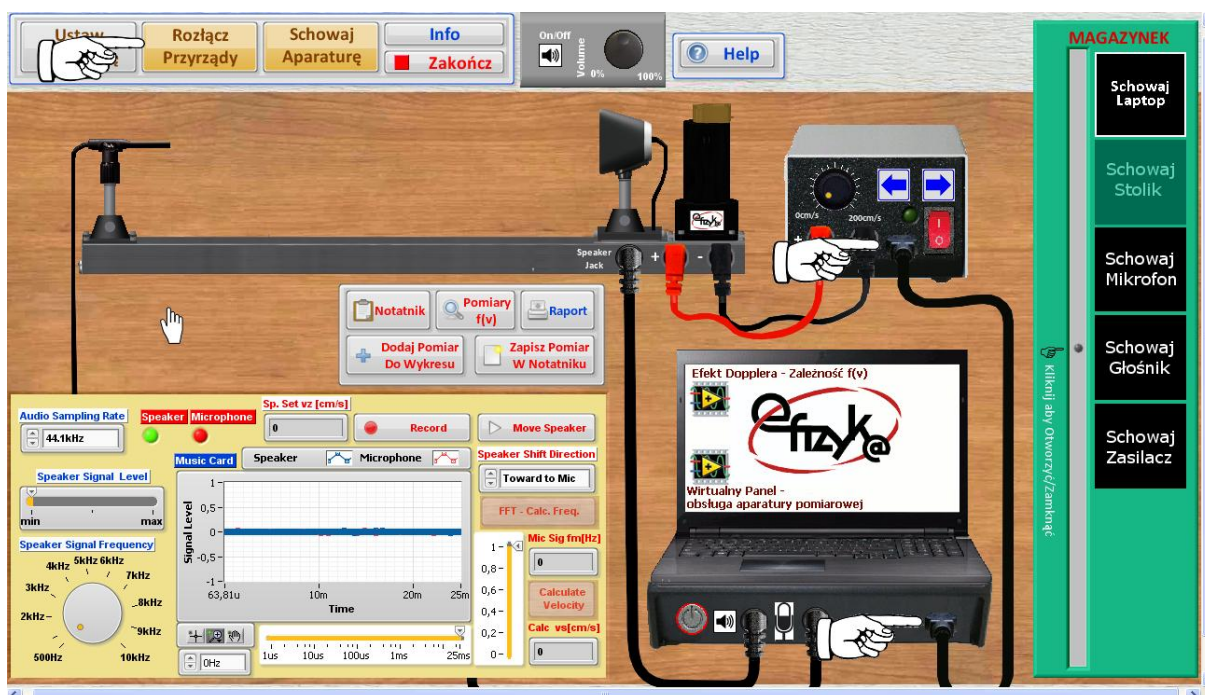
Rys. 5 Ręczny wybór aparatury



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys. 6 Automatyczny wybór aparatury

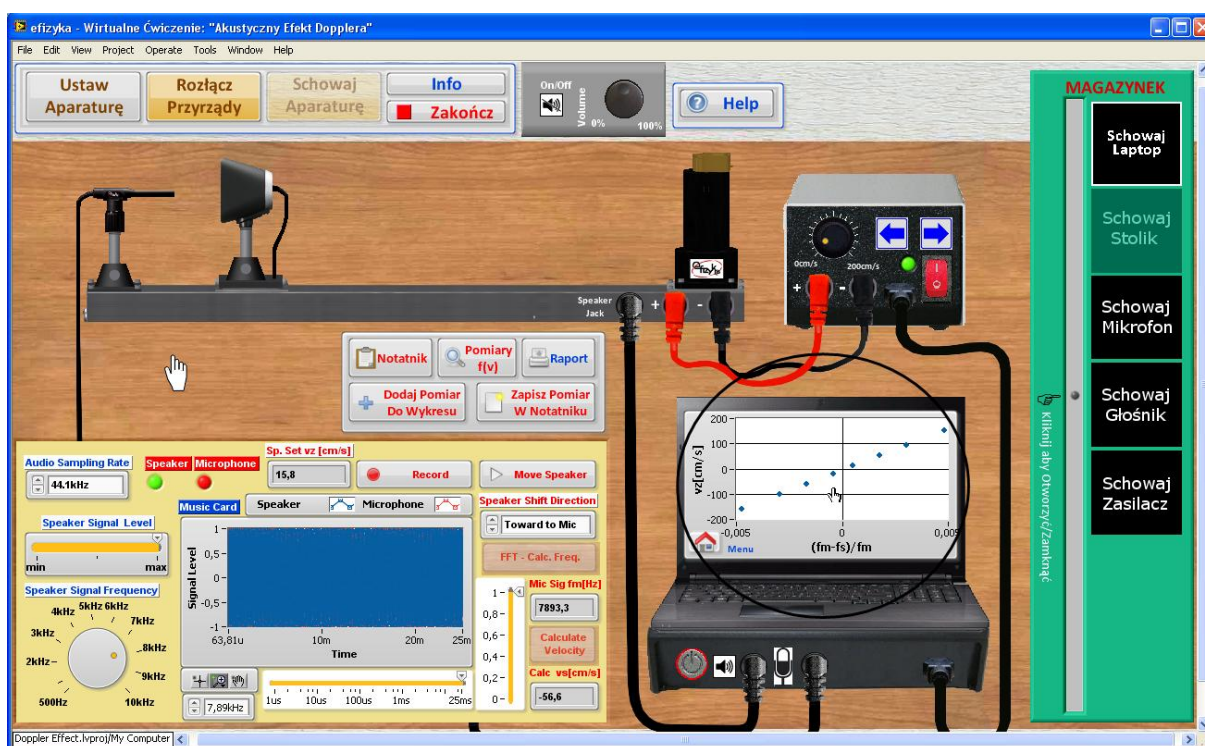


Rys. 7 Elektryczne połączenie aparatury pomiarowej

### 4.3. Wykonanie Ćwiczenia

W trakcie wykonywania wirtualnego ćwiczenia należy odpowiednio ustawić aparaturę i wybrać program obsługi zbierania danych pomiarowych z wirtualnego laptopa. Zebrane

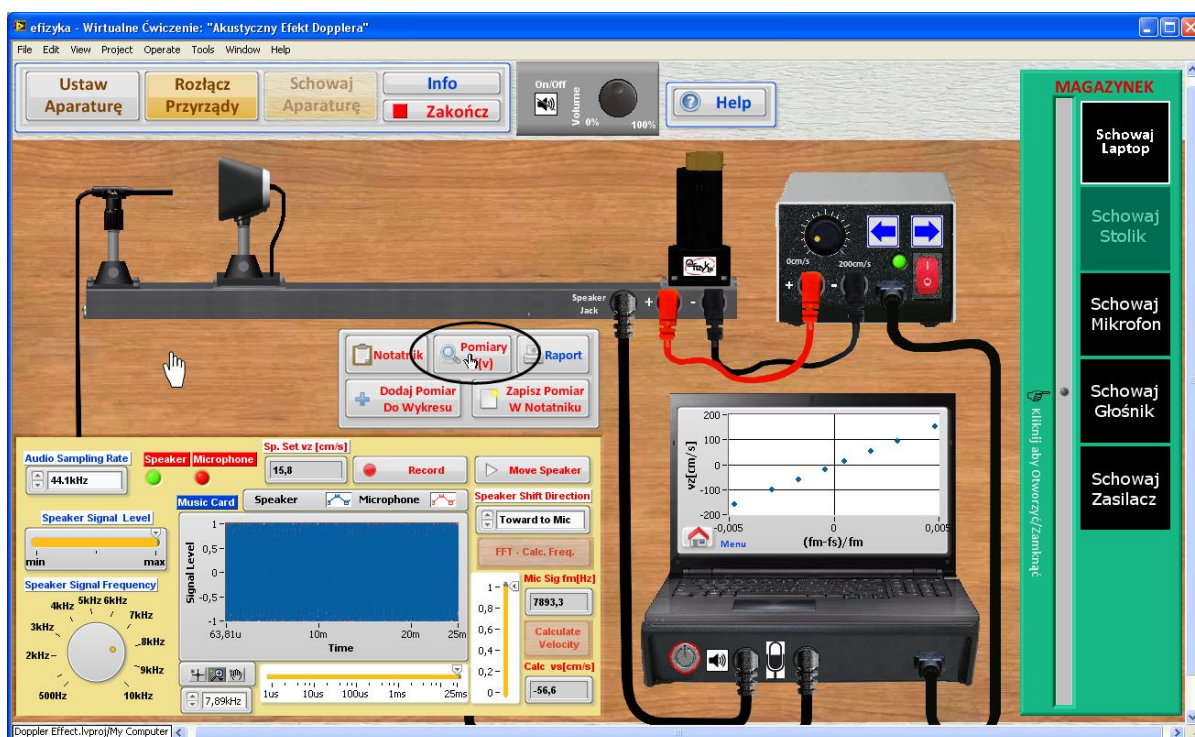
punkty pomiarowe są zapisane w wirtualnym laptopie o ile jest włączone jego zasilanie. Włączenie danego programu nie powoduje skasowania danych zebranych w trakcie obsługi innego programu wirtualnego laptopa, do których można zawsze wrócić ponownie wychodząc do menu głównego i wybierając dany program. Dane można skasować i podglądać włączając okno przeglądania danych poprzez wybranie przycisku „Pomiary f(v)” lub kliknięcie na pulpit wirtualnego laptopa w trakcie zbierania danych, tak jak pokazano to na rys. 8 i rys. 9. W celu skasowania niechcianego punktu pomiarowego kliknij na komórkę tablicy zawierającą ten punkt pomiarowy i wciśnij przycisk „Usuń Pomiar”, lub skasuj wszystkie pomiary wybierając przycisk „Usuń Wszystkie”, zgodnie z rys. 10.



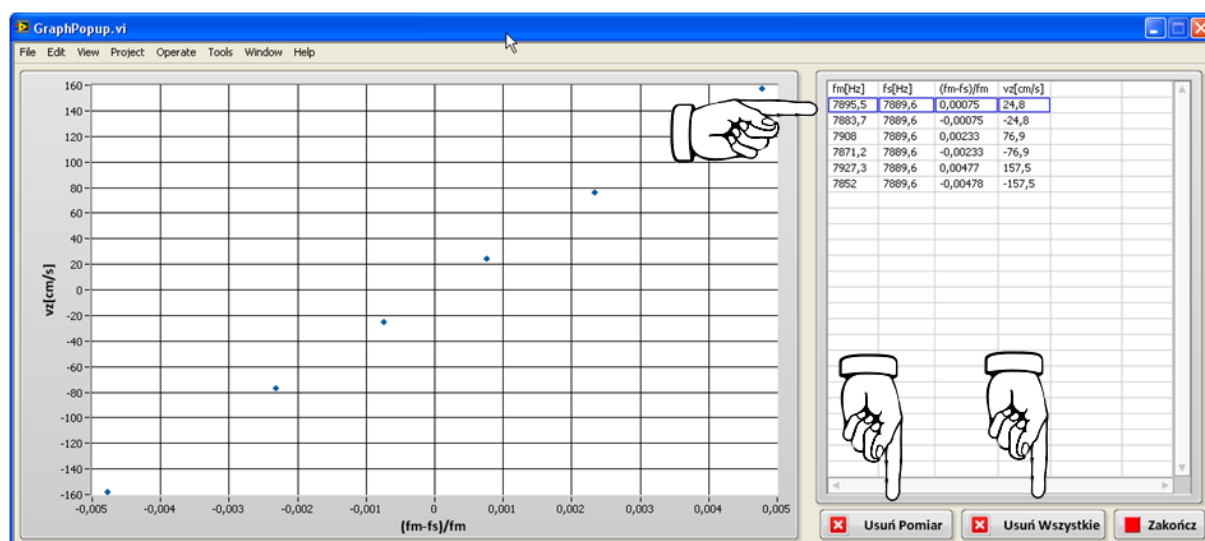
Rys. 8 Przykład otwarcia programu podglądania danych pomiarowych poprzez kliknięcie na ekran wirtualnego laptopa



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys. 9 Przykład otwarcia programu podglądania danych pomiarowych poprzez kliknięcie przycisku „Pomiary f(v)”



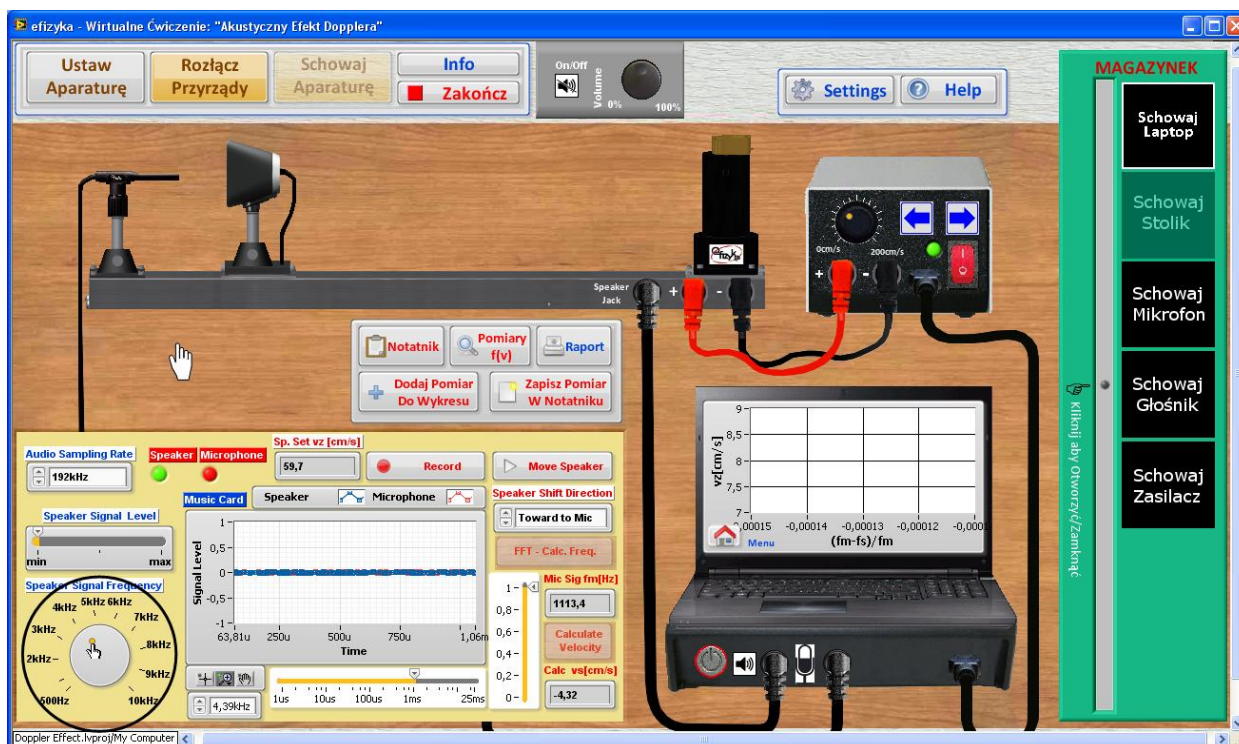
Rys. 10 Program przeglądania i kasowania danych pomiarowych

#### 4.4. Procedura Pomiarowa

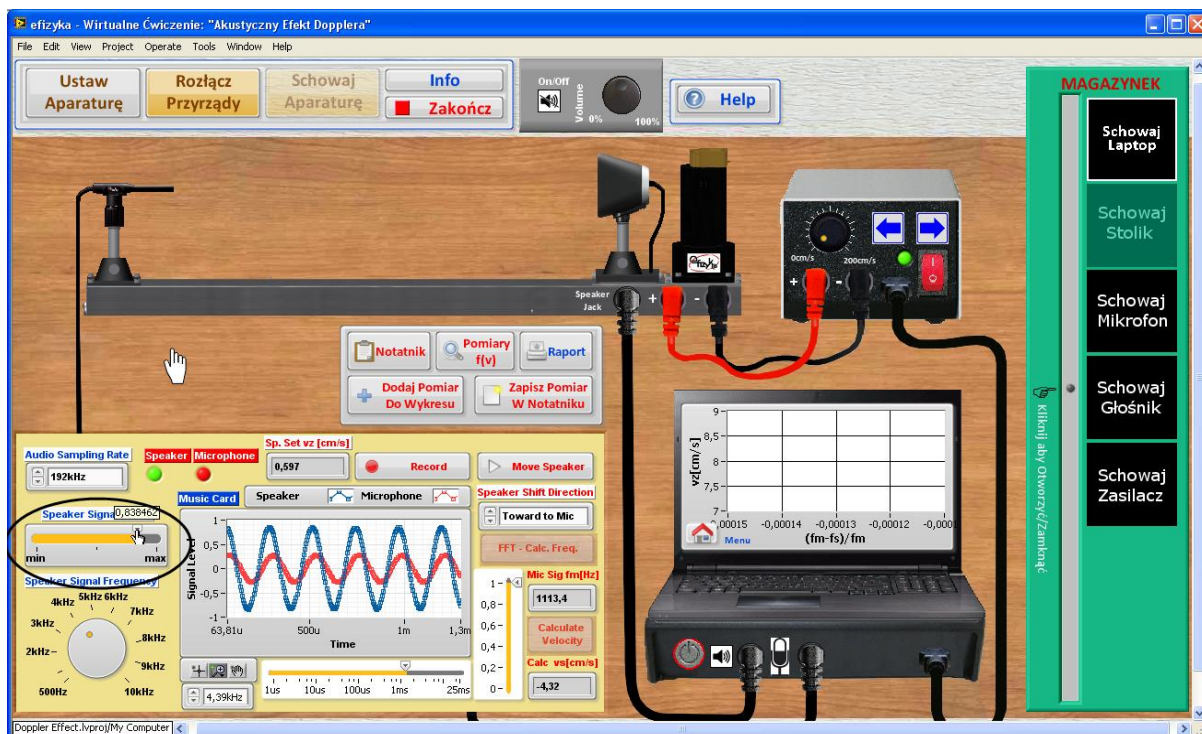
W celu przeprowadzenia pomiaru wykonaj kolejno kroki 1-8, zgodnie z załączonymi do nich rysunkami.

1. Ustaw parametry sygnału podawanego na głośnik, częstotliwość oraz amplitudę

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Rys. 11 Procedura pomiarowa krok 1, podpunkt a

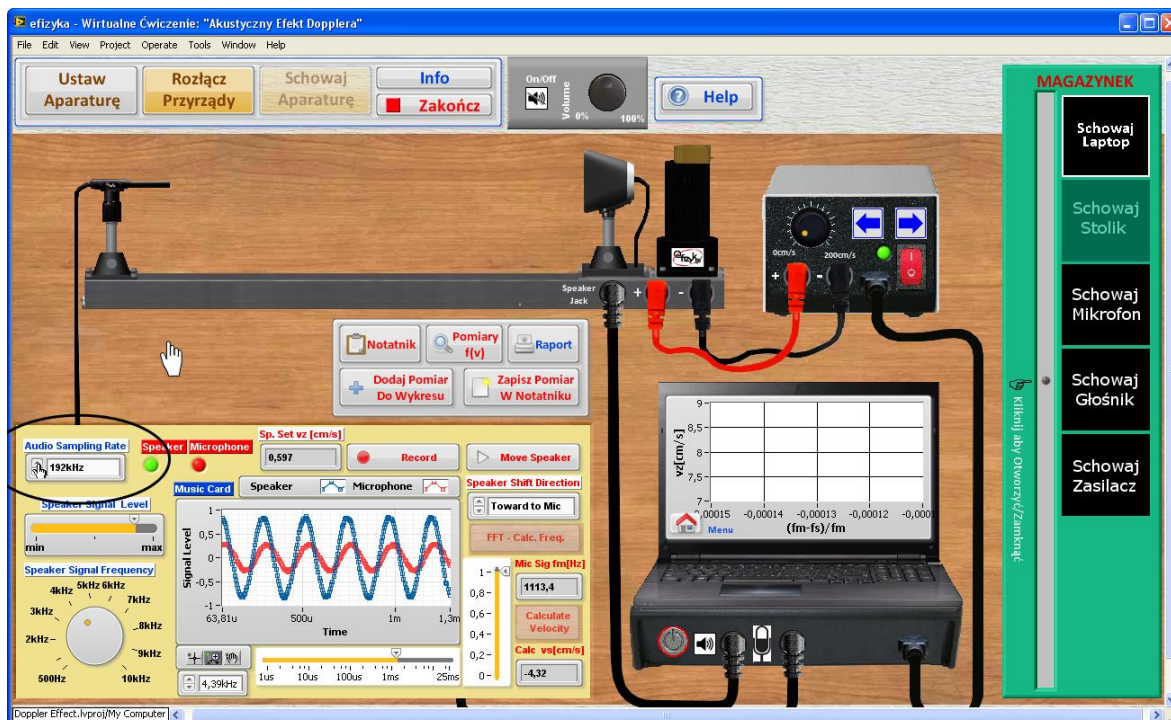


Rys. 12 Procedura pomiarowa krok 1, podpunkt b

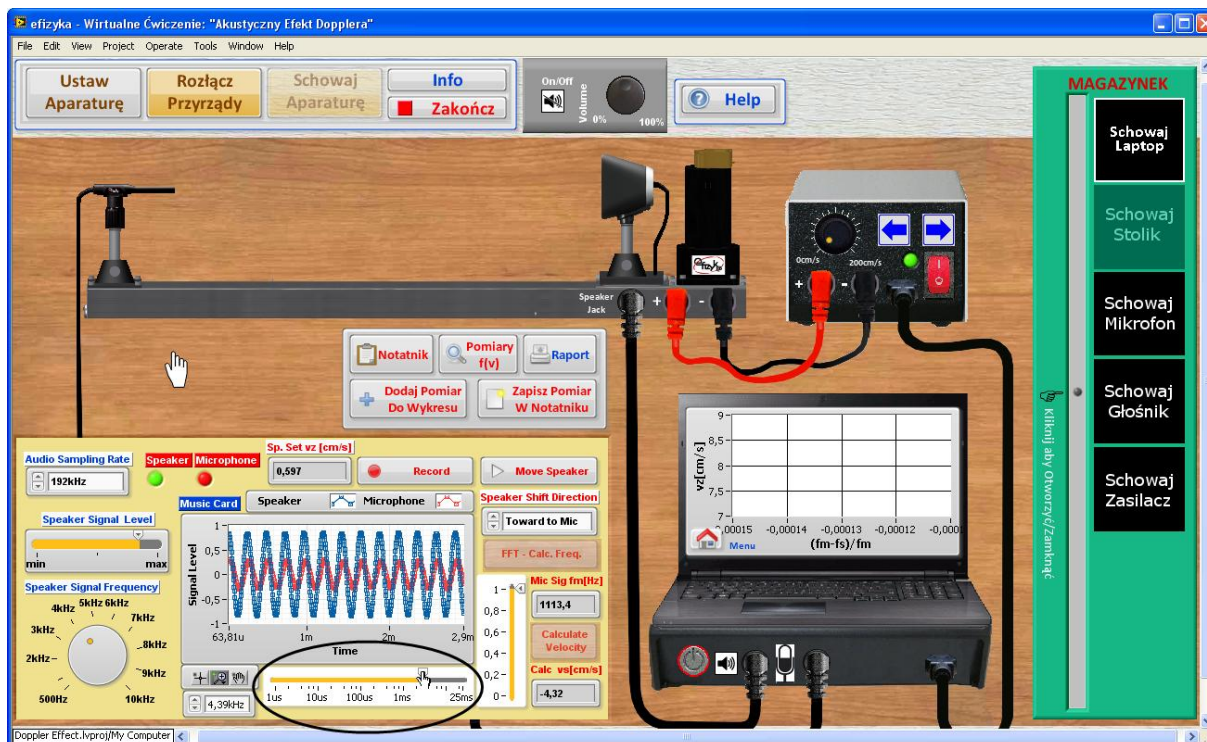


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

- Ustaw parametry próbkowania sygnału, częstotliwość próbkowania, przedział czasu nagrywania sygnału przez kartę muzyczną i zakres pomiarowy amplitudy sygnału

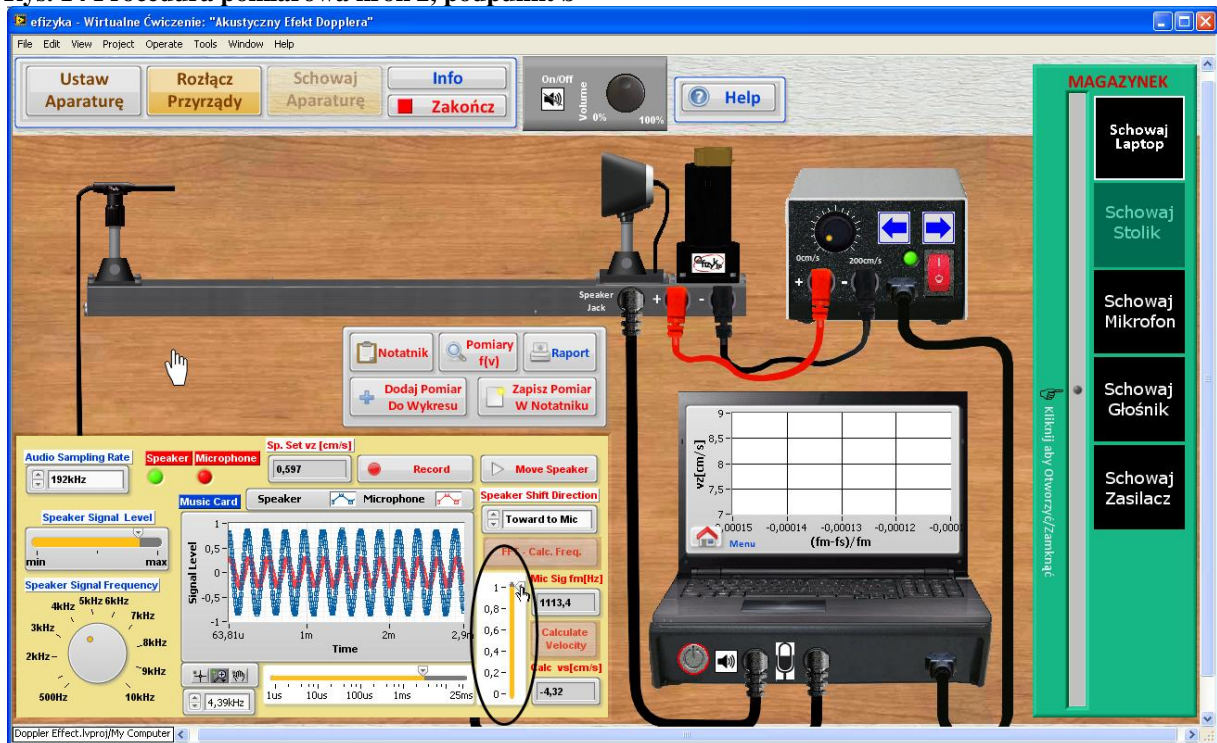


Rys. 13 Procedura pomiarowa krok 2, podpunkt a



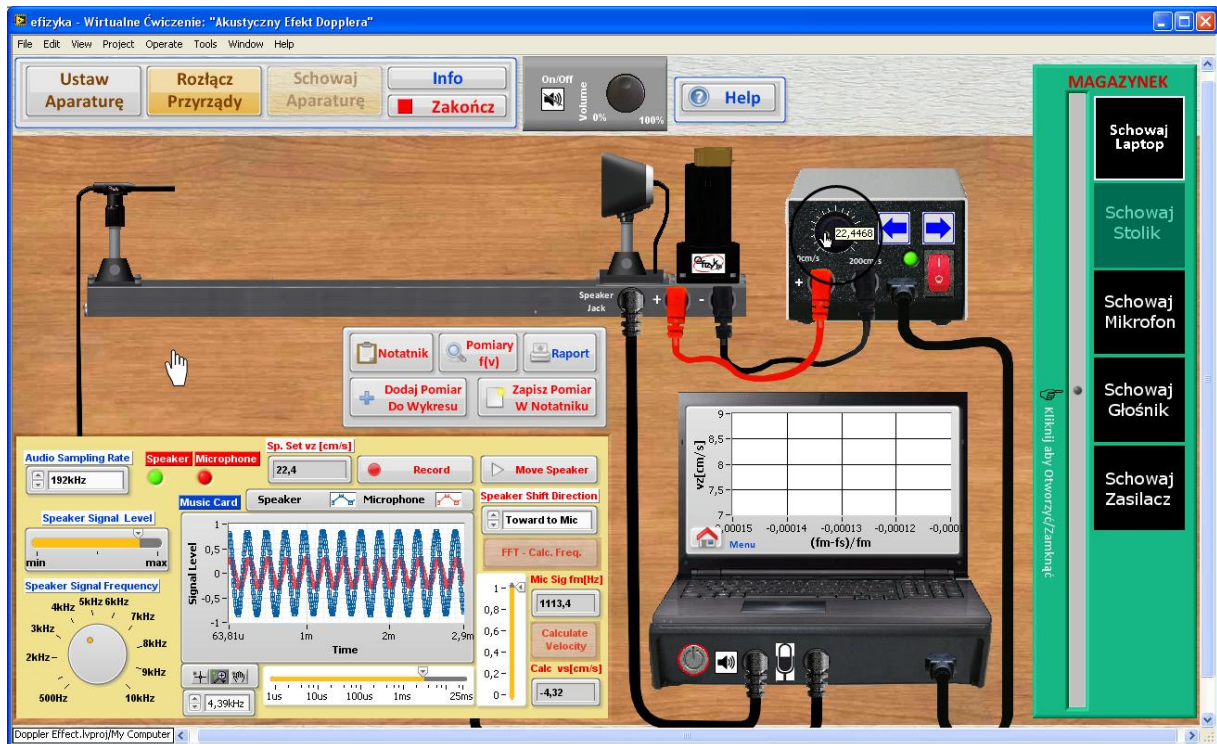
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Rys. 14 Procedura pomiarowa krok 2, podpunkt b



Rys. 15 Procedura pomiarowa krok 3, podpunkt c

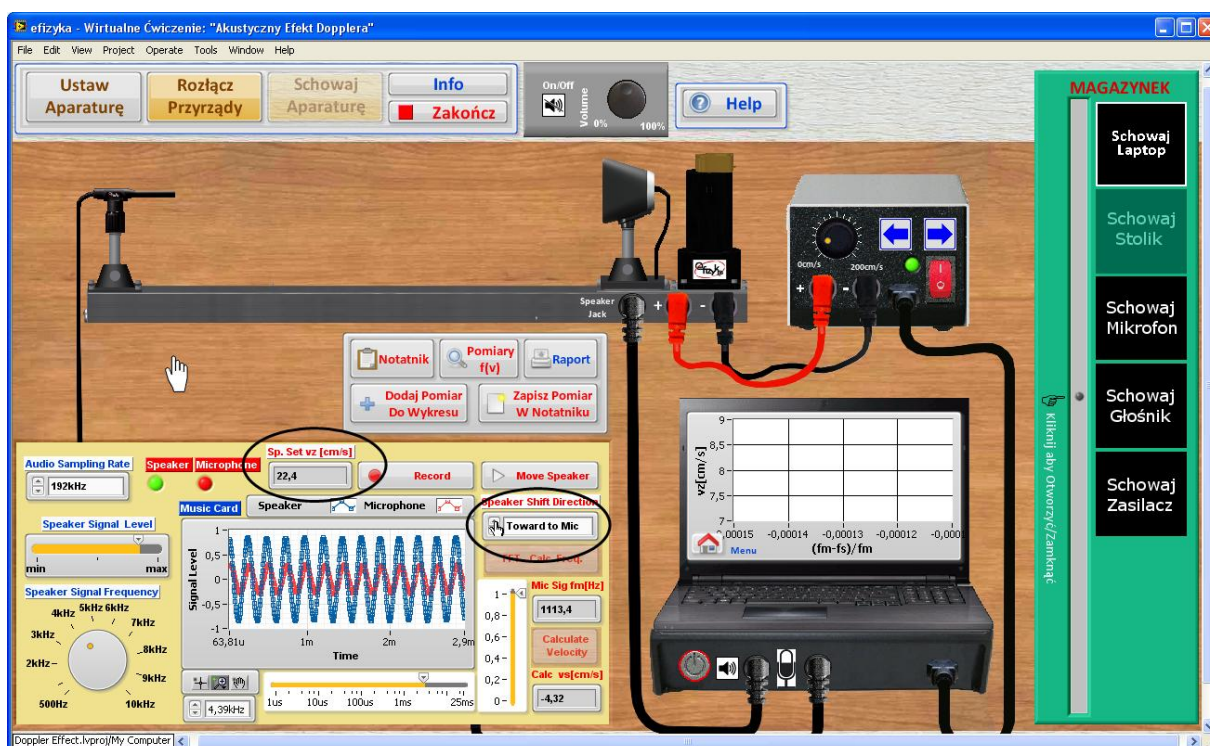
3. Ustaw prędkość liniową przesuwu platformy stolika i zaznacz kierunek przesuwu



Rys. 16 Procedura pomiarowa krok 3, podpunkt a

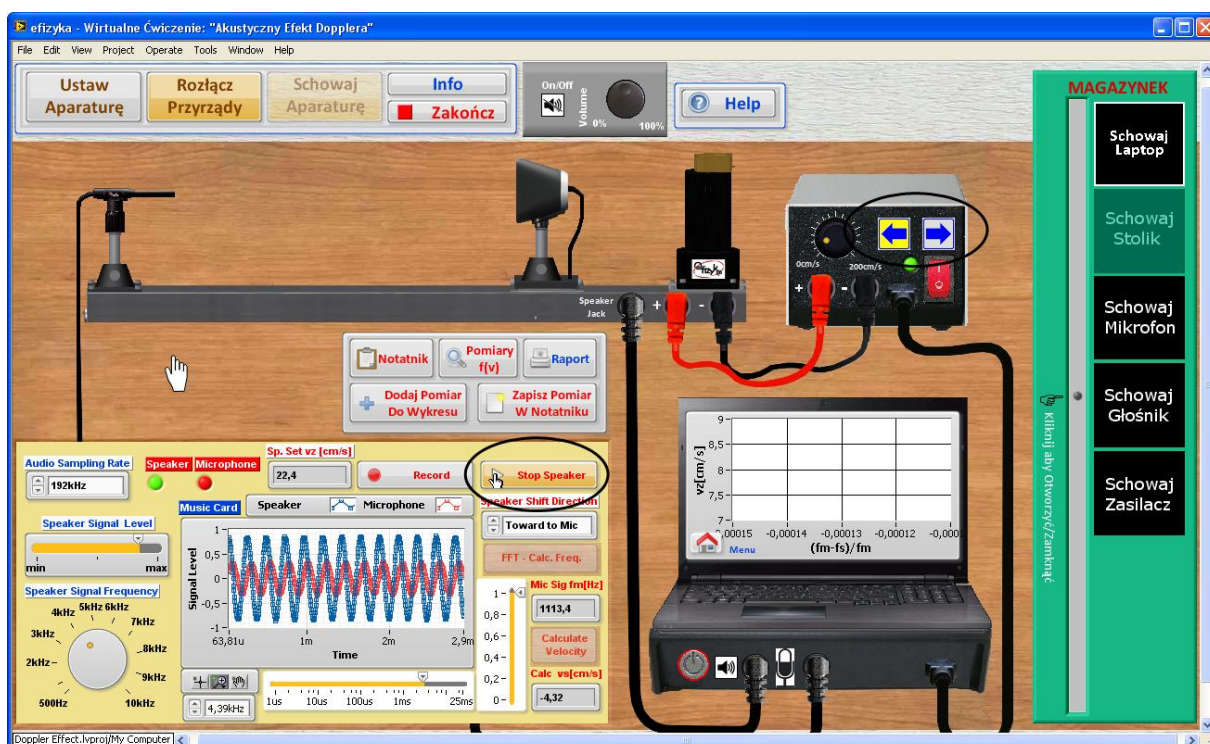


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



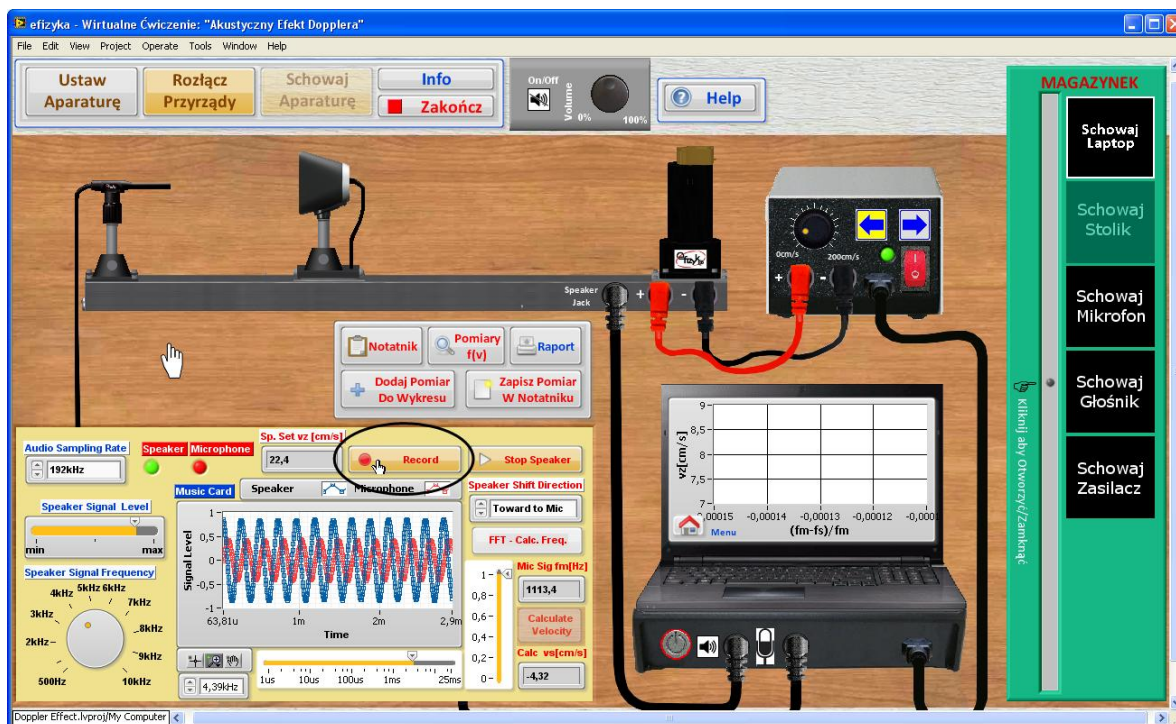
Rys. 17 Procedura pomiarowa krok 3, podpunkt b

4. Uruchom automatyczny przesuw platformy stolika i nagraj sygnały z oscyloskopu w trakcie ruchu



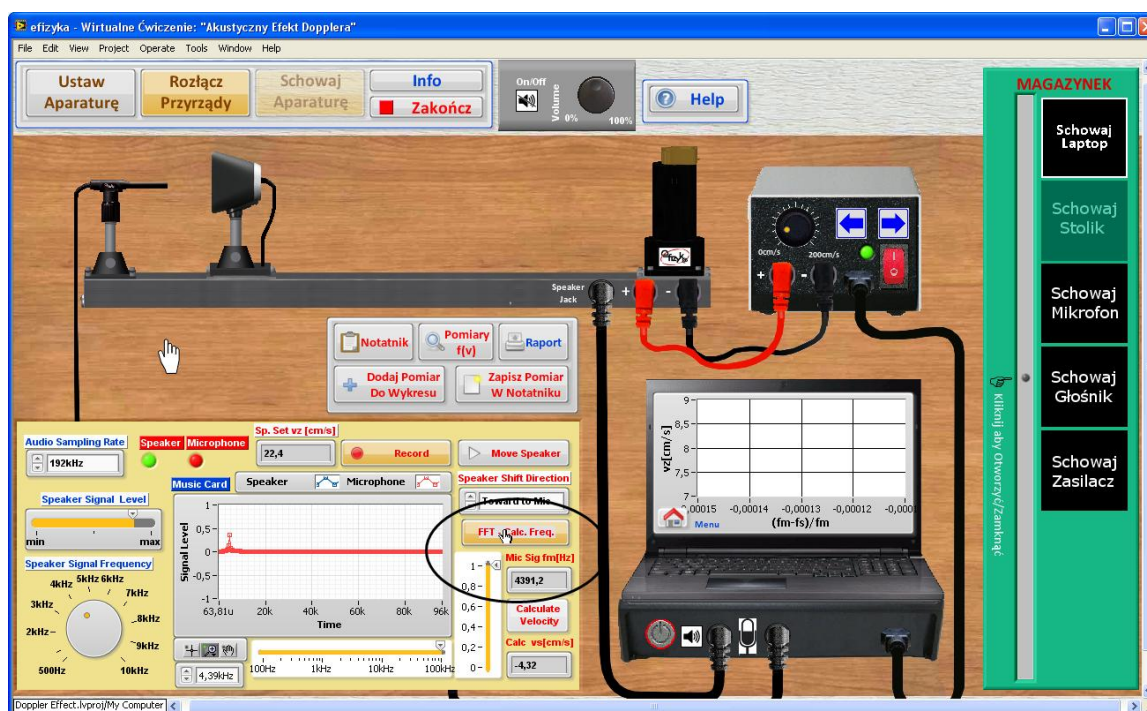
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Rys. 18 Procedura pomiarowa krok 4, podpunkt a



Rys. 19 Procedura pomiarowa krok 4, podpunkt b

5. Wyznacz częstotliwość sygnału zarejestrowanego przez mikrofon

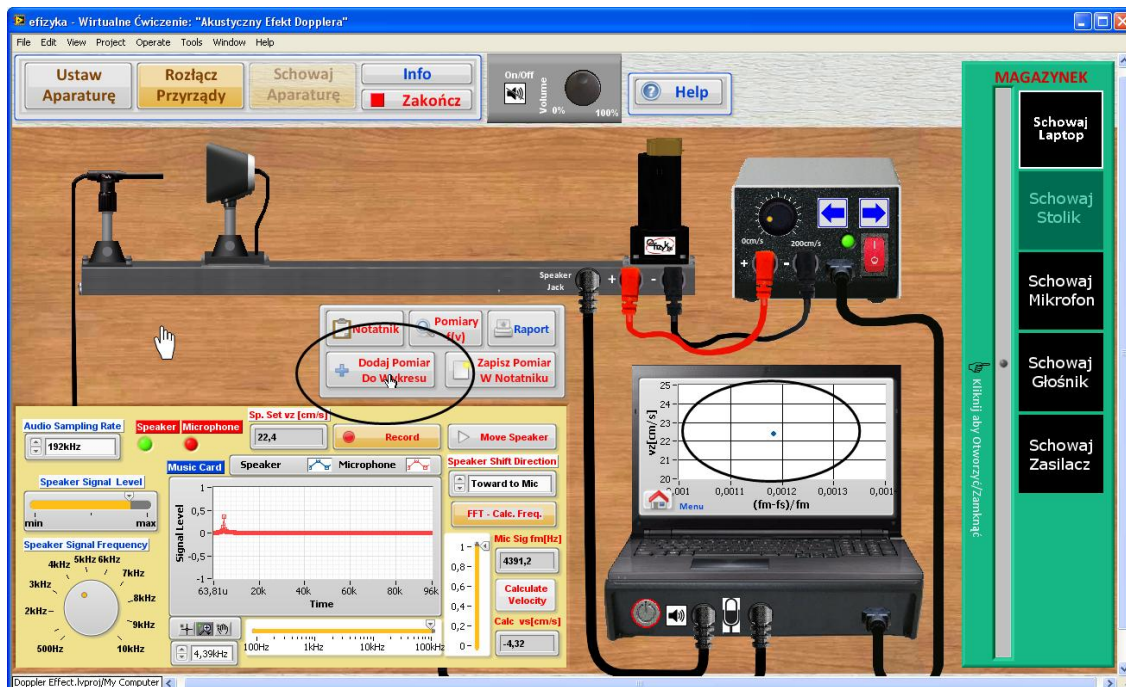


Rys. 20 Procedura pomiarowa krok 5



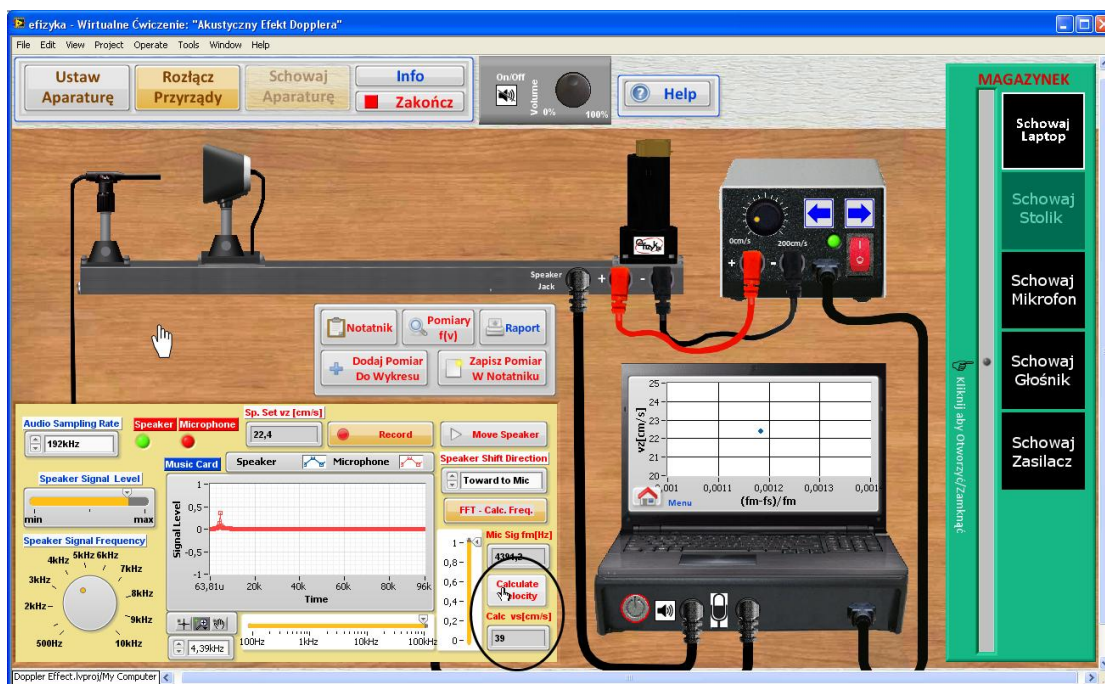
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

6. Dodaj punkt pomiarowy w eksperymencie pomiaru prędkości rozchodzenia się dźwięku

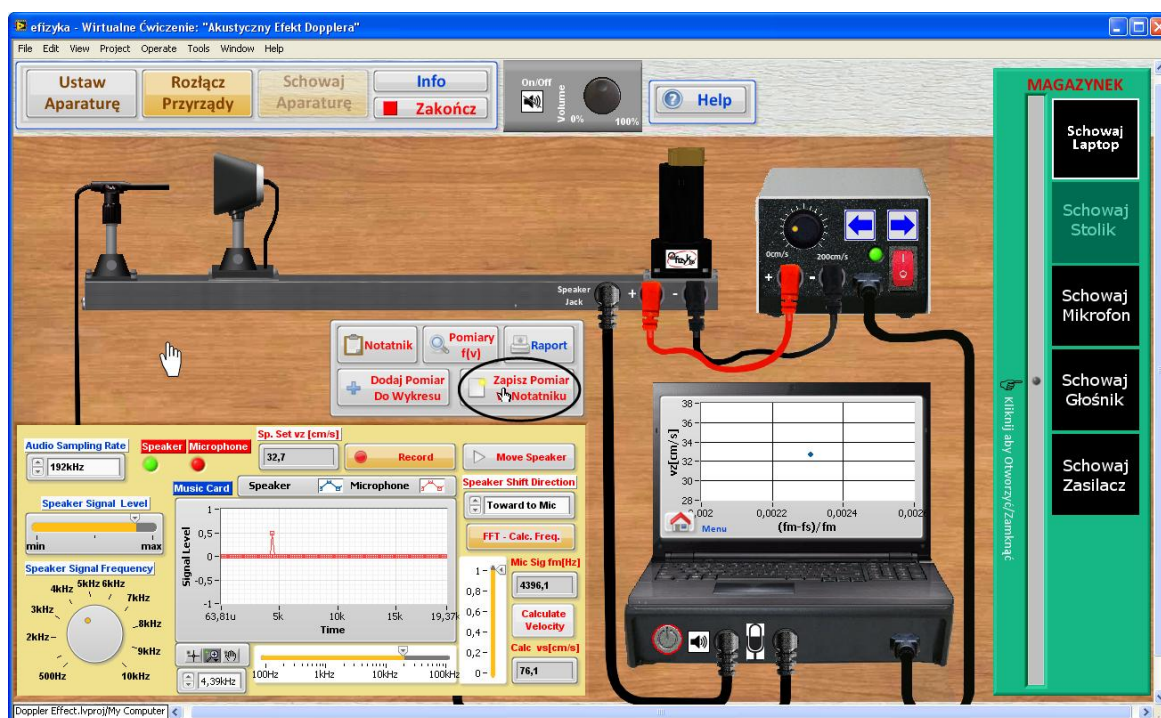


Rys. 21 Procedura pomiarowa krok 6

7. Wyznacz prędkość poruszania się platformy stolika i zapisz pomiar w wirtualnym notatniku



Rys. 22 Procedura pomiarowa krok 7, podpunkt a



Rys. 23 Procedura pomiarowa krok 7, podpunkt b

## Uwagi i komentarze

### Krok 2

W celu osiągnięcia największej dokładności pomiarowej ustaw największą wartość częstotliwości próbkowania i największy zakres czasu nagrywania. Amplitudy sygnałów próbkowanych i wyświetlanych na oscyloskopie muszą się mieścić w ustawionym zakresie na oscyloskopie, w przeciwnym wypadku wyniki będą niedokładne.

### Krok 4

Aby zmierzyć przesunięcie częstotliwości spowodowane efektem Dopplera należy nagrać próbkowane sygnały w trakcie ruchu głośnika. Najlepszą dokładność uzyskać można wtedy gdy głośnik jest w pozycji bliskiej mikrofonu, gdyż amplituda sygnału odbieranego przez mikrofon jest wtedy największa.

### Kroki 6

Kroki 1-5 i 6 należy powtarzać do momentu uzyskania dostatecznie dużej ilości punktów pomiarowych układających się wzdłuż prostej. W tym celu powtórz kroki 1-5 dla różnych ustawień prędkości przesuwu platformy stolika i kierunku jej poruszania.

## **Krok 7**

Kroki 1-5 i 7 należy powtarzać do momentu uzyskania dostatecznie dużej ilości danych pomiarowych umożliwiających wyznaczenie wartości średniej i błędu pomiaru prędkości ruchu platformy stolika. W tym celu dla jednej wybranej wartości prędkości przesuwu stolika i kierunku powtórz kroki 1-5 i 7 kilka razy np. 10-krotnie.

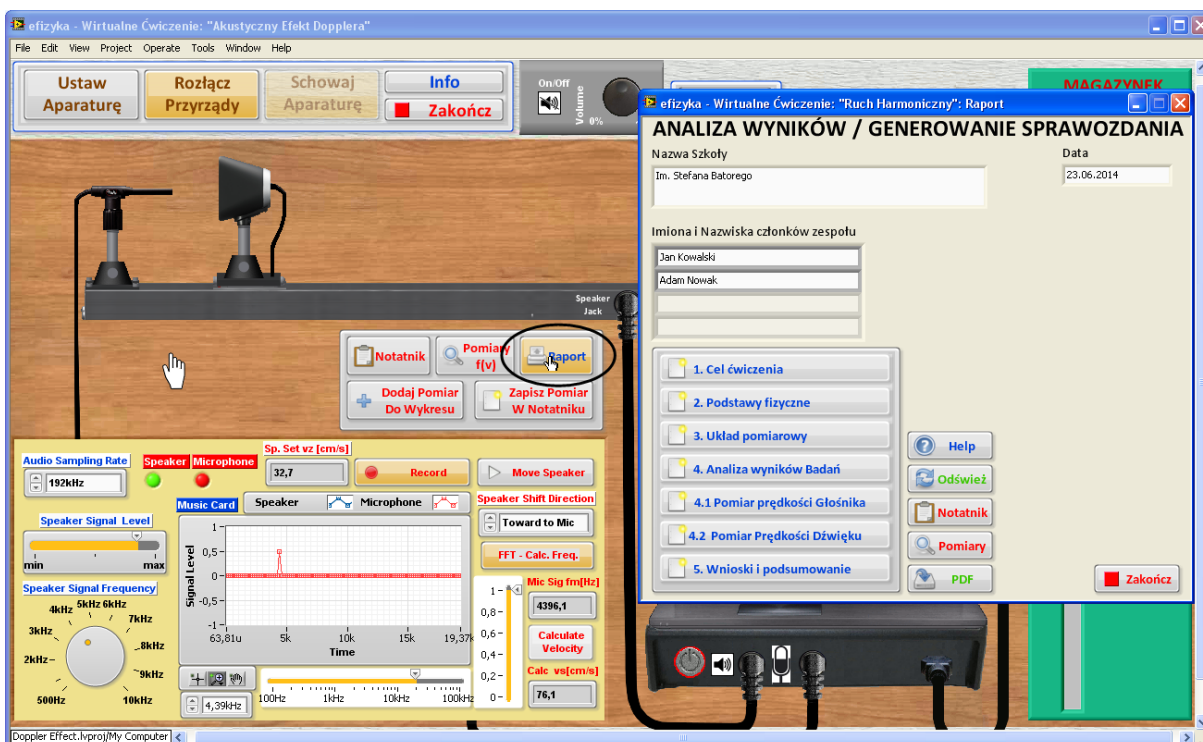
**Uwaga!** W trakcie wyznaczania częstotliwości sygnału odbieranego przez mikrofon i prędkości poruszania się platformy stolika przycisk „Record” musi być cały czas wciśnięty.

## **5. Analiza danych i generowanie sprawozdania**

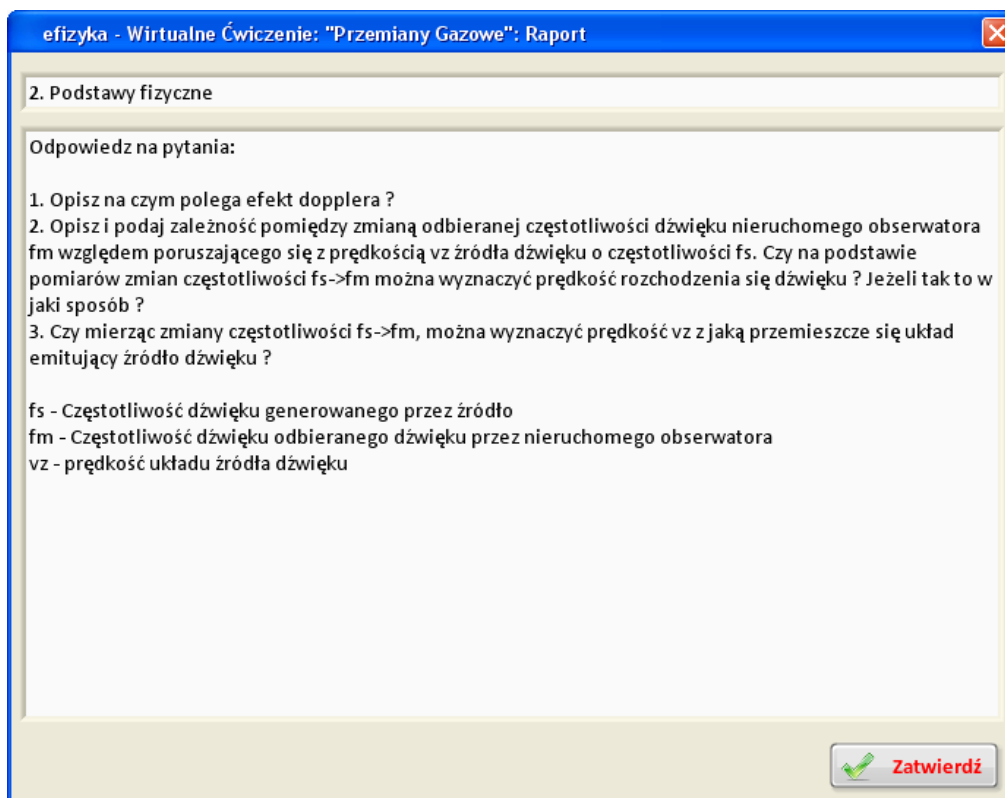
Po zebraniu punktów pomiarowych należy dokonać analizy danych w tym celu z Panelu Użytkownika wybierz przycisk „Raport”. Otworzy się okno podprogramu analizy danych i generowania sprawozdania, co przedstawia rys. 24. Na panelu widoczne są pola do uzupełnienia z nazwą szkoły, daty oraz imion członków zespołu dane ćwiczenie, które należy wypełnić, oraz pole wyboru uzupełnienia dane rozdziału sprawozdania. Po wyborze danego rozdziału otworzy się okno z polami tekstowymi do uzupełnienia sprawozdania, tak jak pokazano to na przykładzie rys. 25 i rys. 26. W celu poprawnego wypełnienia pól tekstowych i analizy danych kieruj się podpowiedziami, które są automatycznie generowane przy pierwszym otwarciu okna analizy i generowania sprawozdania. Analiza danych jest wykonywana automatycznie po naciśnięciu odpowiednich przycisków, które umożliwiają na dopasowanie odpowiednich krzywych do danych pomiarowych np. linii prostej oraz zwrócenia współczynników dopasowania (zobacz rys. 26).



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

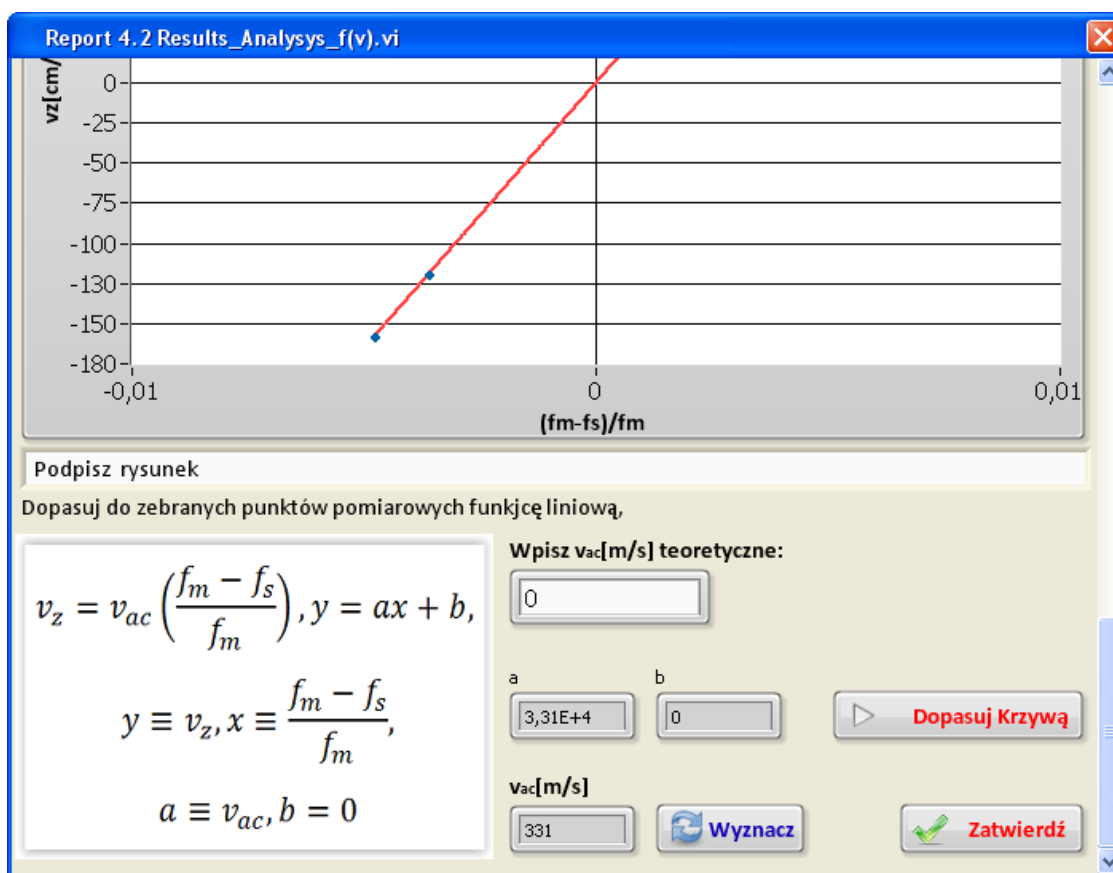


Rys. 24 Okno analizy wyników i generowania sprawozdania



Rys. 25 Okno rozdziału 2 programu generowania sprawozdania





Rys. 26 Okno analizy danych pomiarowych

Po wypełnieniu wszystkich pól sprawozdania i wykonaniu analizy danych wygeneruj sprawozdania wybierając przycisk „PDF”, który otworzy okno systemu Windows do zapisu pliku sprawozdania w formacie PDF. Z widoku okna analizy dostępne są także przyciski,

- Notatnik – umożliwia otwarcie okna notatnika, w celu wykorzystania zanotowanych uwag w trakcie wykonywania ćwiczenia,
- Zakończ – kończy działanie programu analizy i generowania sprawozdania i powraca do wirtualnego ćwiczenia.

. Z widoku okna analizy dostępne są także przyciski,

- Notatnik – umożliwia otwarcie okna notatnika, w celu wykorzystania zanotowanych uwag w trakcie wykonywania ćwiczenia,
- Help – otwiera okienko pomocy z podpowiedziami,
- Pomiary – umożliwia wybranie serii danego eksperymentu i otwarcie okna programu przeglądania i kasowania danych pomiarowych,

- Odśwież – kasuje zawartość wypełnionych pól tekstowych uzupełniając ich zawartość wartościami domyślnymi (podpowiedziami),
- Zakończ – kończy działanie programu analizy i generowania sprawozdania i powraca do wirtualnego ćwiczenia.

Zawartość wypełnionego sprawozdania jest dostępna nawet po wyjściu z okna analizy, a więc sprawozdanie można uzupełniać na bieżąco w trakcie wykonywania ćwiczenia.

## 6. Dodatek

### 6.1. Stolik przesuwu liniowego

**Stolik przesuwu liniowego** – jest to układ mechaniczny, który przekształca ruch obrotowy na ruch liniowy. Najczęściej jest on skonstruowany z wykorzystaniem mechanizmu śrubowego lub pasowego (jak na przykład układ łańcucha i kół zębatych w rowerze). Przesuwu można dokonać za pomocą pokrętki, śruby lub wykorzystując silnik elektryczny np. serwonapędu. Silnik serwonapędu umożliwia na precyzyjne sterowanie prędkością obrotową silnika, a co za tym idzie prędkością przesuwu liniowego. Na rynku dostępne są stoliki przesuwu liniowego z wykalibrowanym silnikiem serwonapędowym pozwalającym na ustawianie prędkości przesuwu nawet kilku m/s. Na rys. 27 przedstawiono zdjęcie układu stolika z przesuwem liniowym.

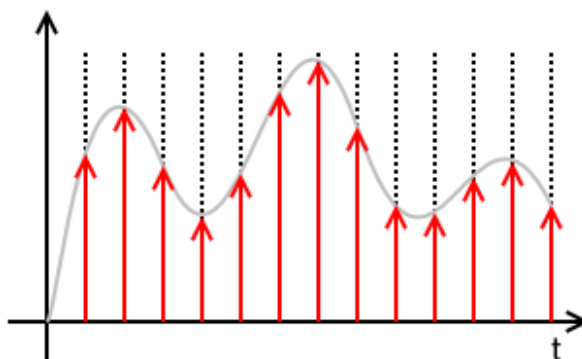


Rys. 27 Stolik przesuwu liniowego z wbudowanym silnikiem serwonapędowym

### 6.2. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów

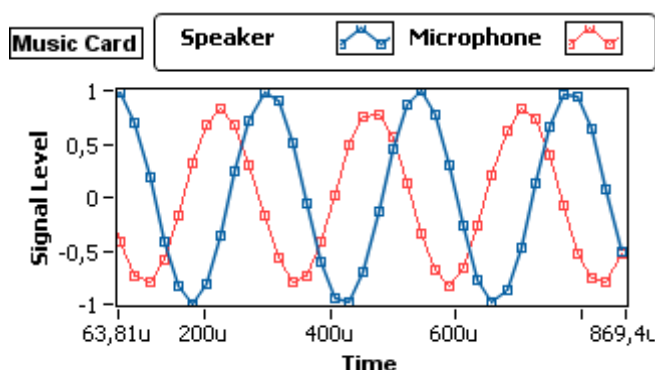
Karta muzyczna przekształca sygnały cyfrowe na sygnały analogowe i odwrotnie. Sygnał analogowy to sygnał ciągły w dziedzinie czasu, jakim jest na przykład emitowany z głośnika

dźwięk. Sygnał cyfrowy to sygnał, który z natury jest dyskretny i zawiera pewien skwantowany (porcjowany) ciąg wartości w dziedzinie czasu. Na rys. 28 przedstawiono przykład sygnału analogowego i dyskretnego.



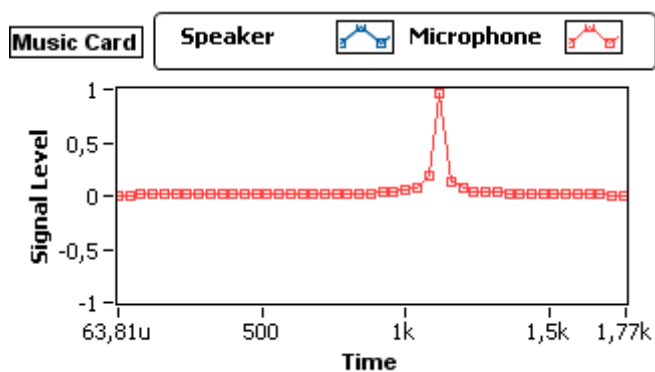
**Rys. 28** Przykład sygnału analogowego zaznaczonego linią szarą i dyskretnego zaznaczonego liniami czerwonymi

Jak widać sygnał dyskretny to ciąg próbek wartości sygnału analogowego. Im więcej próbek tym lepiej odwzorowany sygnał analogowy. Ilość zebranych próbek w czasie 1s określa parametr zwany **częstotliwością próbkowania (ang. *Sampling Rate*)**. Częstotliwość próbkowania określa z jaką szybkością sygnał analogowy jest odtwarzany przez sygnał cyfrowy. Jedną z wielu funkcji karty muzycznej jest przekształcanie sygnałów cyfrowych na analogowe, jak na przykład sygnał podawany na wyjściu głośnika, oraz analogowych na cyfrowe jak sygnał na wejściu mikrofonu. Jak dobrze wiem głośnik to urządzenie, które przekształca sygnał elektryczny na sygnał akustyczny, a mikrofon odwrotnie sygnał akustyczny na elektryczny. Na wirtualnym panelu z rys. 3 widoczny jest oscyloskop zrealizowany z karty muzycznej. Sygnały widoczne na ekranie oscyloskopu to sygnał dyskretny, w którym kolejne ciągi próbek są połączone linią prostą, tak jak pokazane zostało to na rys. 29.



Rys. 29 Zrzut ekranu wirtualnego oscyloskopu próbkowanych sygnałów

Przy analizie sygnałów cyfrowych istnieje problem w jaki sposób z ciągu próbek dyskretnych oszacować częstotliwość i amplitudę próbkowanego sygnału? Odpowiedzią na to jest tak zwany algorytm szybkiej transformaty Fouriera w skrócie FFT. Algorytm rozkłada sygnał dyskretny na ciąg sygnałów harmoniczných, czyli takich, których przebieg można opisać funkcją sinus lub cosinus. Można także powiedzieć, że zamienia dziedziną sygnału, z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości sygnałów harmoniczných, co przedstawia kolejny zrzut ekranu wirtualnego oscyloskopu na rys. 7.



Rys. 30 Zrzut ekranu wirtualnego oscyloskopu po przeprowadzeniu analizy FFT sygnału nagranych na wejściu mikrofonowym

Jeżeli tak jak w przypadku naszego ćwiczenia mamy do czynienia z jednym tonem sygnału harmonicznego, to na wykresie powinien być widoczny jeden prążek dla częstotliwości odbieranego przez mikrofon sygnału. Na rys. 30 widzimy raczej małą górkę niż pionowy prążek, a więc pewne rozmycie wyniku analizy. Jest to błąd spowodowany dyskretyzacją sygnału, czyli tym, że próbkując sygnał analogowy nigdy nie zbierzemy pełnej informacji na jego temat. Część informacji jest stracona (są to odcinki pomiędzy kolejnymi próbkami). Błąd

określenia częstotliwości odbieranego sygnału będzie istniał zawsze niezależnie od możliwości użytej aparatury. **Błąd ten będzie tym mniejszy im więcej zbierzemy próbek w ciągu jednego okresu sygnału (a więc im szybsze będzie próbkowanie sygnału) oraz im więcej okresów uda nam się zebrać.** Tak więc w celu osiągnięcia najlepszego rezultatu należy wybrać maksymalną częstotliwość próbkowania z wirtualnego panelu i najdłuższy okres czasu nagrywania sygnału przez kartę muzyczną. Spróbuj to sprawdzić ustawiając różne częstotliwości próbkowania karty oraz zbierając różne przedziały czasu nagrywania.

### **Dla dociekliwych**

Spróbuj odpowiedzieć na pytania,

1. Dlaczego w trakcie ruchu głośnika zmienia się amplituda sygnału odbieranego przez mikrofon ?
2. Dlaczego sygnał odbierany przez mikrofon ulega przesunięciu w trakcie ruchu głośnika ?