

Uniwersytet Rzeszowski
LABORATORIUM BIOFIZYKI

Ćwiczenie nr B01

Temat:

ABSORPCJA ULTRADŹWIEKÓW W POWIETRZU

LITERATURA:

1. F. Jaroszyk (red.), *Biofizyka – podręcznik dla studentów*, PZWL, Warszawa 2001.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: *Podstawy fizyki, t.2*, PWN, Warszawa 2003.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

1. M. Kwiek, *Akustyka laboratoryjna, cz. 1, Podstawy akustyki teoretycznej*, PWN, Warszawa 1968.
2. T. Cholewicki, *Elektrotechnika teoretyczna, t. 1, wyd. 3*, WNT, Warszawa 1973.

ZAGADNIENIA TEORETYCZNE:

1. Fale podłużne, fale płaskie, fale kuliste, rozchodzenie się fal dźwiękowych, ciśnienie akustyczne.
2. Natężenie dźwięku, współczynnik absorpcji ultradźwięków, prawo Lamberta (prawo absorpcji).
3. Przenikanie i pochłanianie fal ultradźwiękowych, działanie biologiczne i mechaniczne fal ultradźwiękowych.

WPROWADZENIE DO ĆWICZENIA:

Fala ultradźwiękowa to fala akustyczna o częstotliwości od ok 20kHz do ok 1GHz. Fale akustyczne są **falami podłużnymi**; cząsteczki ośrodka ulegają zagęszczaniu i rozrzedzaniu w kierunku rozchodzenia się fali w ośrodkach sprężystych (powietrze, woda, ciała stałe). Przy opisywaniu fal ultradźwiękowych uwzględnia się ich częstotliwość, pulsację, prędkość, długość, okres drgań, impedancję akustyczną, moc i natężenie. Prędkość propagacji fali dźwiękowej (c) jest zależna od gęstości ośrodka i jego sprężystości objętościowej, tak więc w różnych ośrodkach jest ona inna. Prędkość rozchodzenia się dźwięku w biologicznych tkankach miękkich waha się między 1480 a 1580 m/s. Prędkość ta jest znacznie większa w kości: 4080 m/s, natomiast mniejsza w powietrzu: 340 m/s (dla temperatury ok 15°C). Prędkość rozchodzenia się ultradźwięków jest wielkością charakterystyczną dla danego ośrodka (tkanki), dlatego **przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego zmienia się tylko długość fali – częstotliwość jest określona przez źródło i jest wartością stałą**.

Fale akustyczne mogą rozchodzić się w przestrzeni w postaci fal podłużnych lub poprzecznych. Ciało człowieka, z wyłączeniem szkieletu, jest traktowane w fizycznym opisie ultrasonografii jako płyn, w którym mogą rozchodzić się jedynie fale podłużne. Fale obu rodzajów rozchodzą się natomiast w tkance kostnej, która musi być traktowana jako ciało stałe. Fala ultradźwiękowa ulega zjawisku pochłaniania (zamiana energii na ciepło), załamania (uginania, podobnie jak soczewka ugina falę świetlną), rozpraszania i odbicia.

Ultradźwięki są rozpraszane przez gazy, zaś w ośrodkach o dużej gęstości są pochłaniane. Utrudnieniem jest też tkanka tłuszczowa, która tłumi fale dźwiękowe. Obraz USG staje się wtedy mniej wyraźny. Fala ultradźwiękowa rozchodzi się zarówno w powietrzu jak i w kościach, jednak zachodzi tutaj zjawisko niedostosowania impedancji akustycznej na granicy powietrze – woda oraz tkanki miękkie – kości, co powoduje prawie całkowite odbicie fali ultradźwiękowej na granicy tych ośrodków. Natężenie fali przechodzącej zależy od współczynnika przejścia (T ; ang. *Transmission*).

$$T = 1 - R,$$

gdzie R to współczynnik odbicia (ang. *Reflection*).

Współczynnik odbicia R w przypadku granicy ośrodków tkanka miękka – powietrze wynosi 0.99, zaś w przypadku granicy tkanka miękka – mięśnie wynosi tylko 0,0004.

W przeciwieństwie do poprzecznych fal elektromagnetycznych, które mogą rozchodzić się w próżni, podłużna fala dźwiękowa do rozchodzenia się wymaga ośrodka materialnego. Podczas rozchodzenia się drgań o określonej częstotliwości, również cząsteczki ośrodka znajdujące się na drodze rozchodzenia się fali zostają pobudzone do drgań o tej samej częstotliwości. To okresowe przesuwanie się cząsteczek ośrodka powoduje, że zmienia się jego gęstość, w wyniku czego zmienia się również okresowo jego ciśnienie. Przemieszczające się cząsteczki oddają część swojego pędu cząsteczkom sąsiadnym, co powoduje, że one również będą wykonywać drgania. Wszystkie cząsteczki będą drgały wokół swych pozycji równowagi, podczas gdy ich pęd będzie przekazywany – powstanie tak zwana **fala dźwiękowa**. Przekazywanie pędu nie odbywa się bez strat; im większa odległość od źródła tym słabsze jest zmienne ciśnienie akustyczne. Jest to spowodowane tarcieniem wewnętrznym w ośrodku i wyrównaniem temperatury między punktami sprężania i rozrzedzania.

Dla **plaskich** fal dźwiękowych, prawdziwe jest prawo absorpcji (**prawo Lamberta**) opisujące spadek zmiennego ciśnienia akustycznego:

$$p(x) = p(x_0)e^{-\tilde{\alpha}(x-x_0)},$$

gdzie $p(x_0)$ jest amplitudą początkową zmiennego ciśnienia akustycznego (w odległości x_0 od źródła), $p(x)$ jest jego amplitudą w odległości x , natomiast $\tilde{\alpha}$ jest **współczynnikiem pochłaniania**, którego wartość można przyjąć jako stałą. Współczynnik pochłaniania zależy od częstotliwości, temperatury, liczby stopni swobody atomów/cząsteczek gazu oraz wilgotności względnej. W doświadczeniu, zamiast ciśnienia akustycznego p , odczytujemy napięcie elektryczne wskazywane przez miernik cyfrowy.

PROGRAM ĆWICZENIA:

1. Zmierzyć zależność napięcia elektrycznego U od odległości x od źródła ultradźwięków, przesuując odbiornik ultradźwięków wzdłuż kierunku rozchodzenia się fal dźwiękowych.
2. Zmierzyć temperaturę otoczenia oraz wilgotność względną powietrza.
3. Przygotować wykresy: liniowy i logarytmiczny natężenia dźwięku w zależności od odległości od źródła.
4. Potwierdzić prawo absorpcji Lamberta i wyznaczyć współczynnik absorpcji.
5. Obliczyć wartość tłumienia ultradźwięków w powietrzu (przy aktualnych warunkach temperatury i wilgotności powietrza) i porównać go z zamieszczonymi w instrukcji wartościami odniesienia.

WYKONANIE ĆWICZENIA:

1. Dopasuj odbiornik i nadajnik ultradźwięków w taki sposób, aby znajdowały się one na identycznej wysokości, ze zgodnymi ze sobą osiami pionowymi. Podłącz nadajnik do gniazda diody TR1 generatora ultradźwięków i ustaw go w ciągły tryb działania „Con”.
2. UWAGA! Aby zapewnić proporcjonalność między sygnałem wejściowym i wyjściowym, należy unikać przesterowania wzmacniacza. W takich przypadkach, gdy zapala się dioda „OVL”, należy zmniejszyć amplitudę nadajnika albo wzmocnienie sygnału.
3. UWAGA! Aby uniknąć zakłóceń działania wzmacniacza telefony komórkowe powinny znajdować się w odległości mniejszej niż 2m od urządzenia.
4. Przeprowadź minimum trzy serie pomiarów, w których zbadana zostanie absorpcja ultradźwięków w powietrzu. **Rozpocznij pomiary, gdy odległość x między nadajnikiem i odbiornikiem wynosi ok. 50 cm, następnie zwiększaj stopniowo tę odległość o ok. 5 cm, aż odległość między nadajnikiem i odbiornikiem osiągnie 100 cm.**
5. Na początku serii pomiarowej dostosuj otrzymany sygnał do maksymalnej wartości zawartej w przedziale 3.3 – 3.4 V.
6. Na wynik doświadczenia mogą mieć wpływ ultradźwięki odbite. Można tego w znacznej mierze uniknąć przez przygotowanie doświadczenia, o ile to możliwe, daleko od ścian i mebli (oraz innych przedmiotów odbijających ultradźwięki). Szczególnie kłopotliwe są odbicia od powierzchni roboczej, na której zainstalowana jest ława. Można je zmniejszyć przykrywając ławę materiałem dźwiękochłonnym. Poza tym, osoba przeprowadzająca eksperyment, podczas odczytu nie powinna stać zbyt blisko miejsca wykonywania pomiaru.

INFORMACJE DODATKOWE:

1. Wykres liniowy sporządzamy (np. przy pomocy programu Microsoft Excel) korzystając z zależności:

$$\ln \left[\frac{U(x)}{U(x_0)} \right] = -\tilde{\alpha} \cdot (x - x_0).$$

Korzystamy z wykresu typu XY dodając linię trendu (liniowy) oraz umieszczając równanie linii trendu na wykresie. Wartości dla słupków błędów liczymy z zależności:

$$\Delta x = 1\text{mm (słupki poziome);}$$

$$\Delta \left\{ \ln \left[\frac{U(x)}{U(x_0)} \right] \right\} = \frac{\Delta[U(x)]}{U(x)} + \frac{\Delta[U(x_0)]}{U(x_0)} \text{ (słupki pionowe).}$$

Ze względu na to, że pomiary napięcia dokonane były miernikiem cyfrowym, niepewności pomiarowe odczytu napięcia obliczamy zgodnie ze wzorem podanym w instrukcji miernika, tzn.:

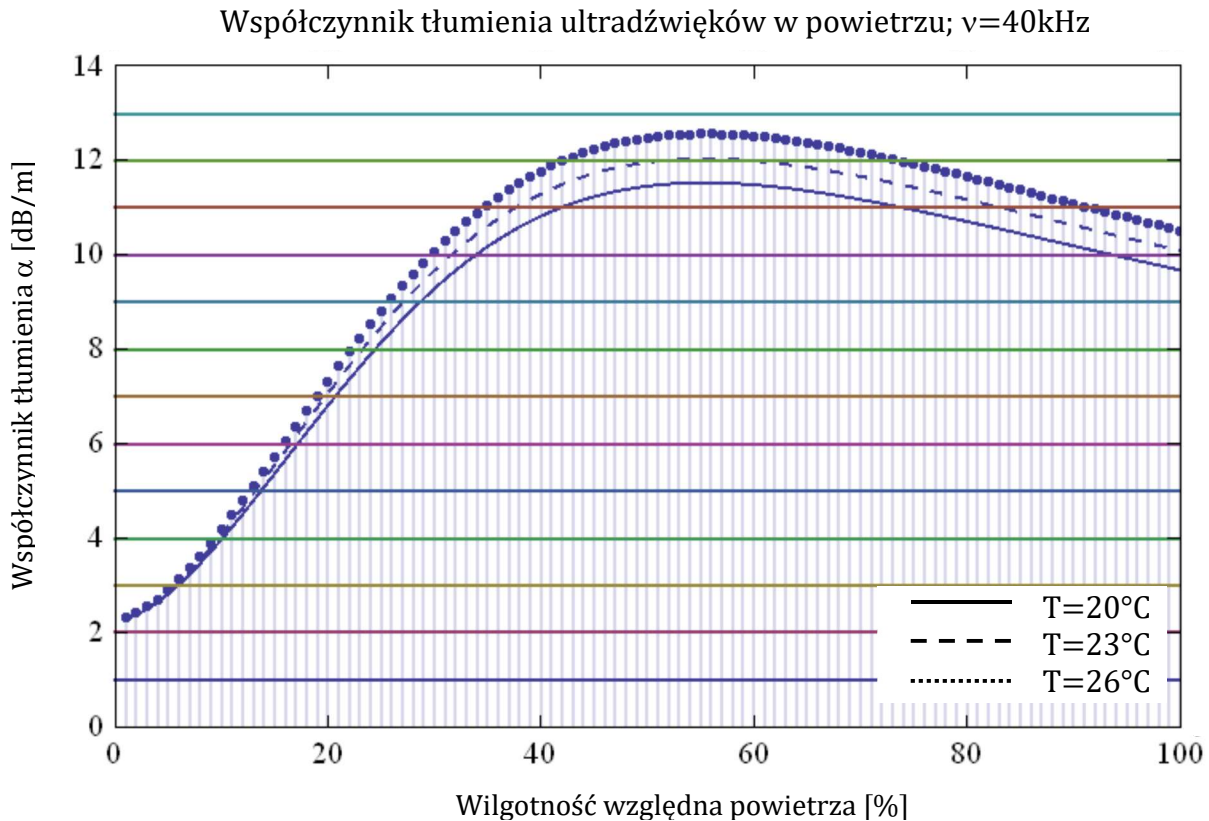
$\Delta U = 0.5\%rdg + 3dgt$, gdzie rdg oznacza wartość odczytu natomiast dgt to jednostka ostatniego pola odczytu; np. gdy wskazanie miernika wynosi $U = 1.79V$ to $\Delta U = 0.5 \cdot 0.01 \cdot 1.79V + 3 \cdot 0.01V \approx 0.04V$

2. Wartość współczynnika absorpcji $\tilde{\alpha}$ to wartość bezwzględna współczynnika kierunkowego prostej regresji.
3. Niepewności wartości współczynnika absorpcji można otrzymać wykorzystując funkcję wbudowaną programu Microsoft Excel: REGLINP (formuła tablicowa).

4. Korzystając z zależności $\frac{U(x)}{U(x_0)} = e^{-\tilde{\alpha}(x-x_0)}$ wyznaczamy wartość $\frac{U(x)}{U(x_0)}$ obliczając prawą stronę równania, tzn. $e^{-\tilde{\alpha}(x-x_0)}$ dla ustalonej wartości $x-x_0$ (np. $x-x_0 = 0.5 \text{ m}$) oraz wyznaczonego w punkcie 2 współczynnika absorpcji $\tilde{\alpha}$, a następnie wyznaczamy wartość stałej tłumienia α ultradźwięków w powietrzu na podstawie wzoru:

$$\alpha = \frac{1}{x-x_0} 20 \log \left(\frac{U(x)}{U(x_0)} \right).$$

5. Porównujemy otrzymany wynik z wartością przedstawioną na wykresie* (dla określonej temperatury oraz wilgotności względnej powietrza).



*aby wyznaczyć wartość α wg ISO-9613-1, należy otrzymany rezultat pomnożyć przez wartość 0.1151.